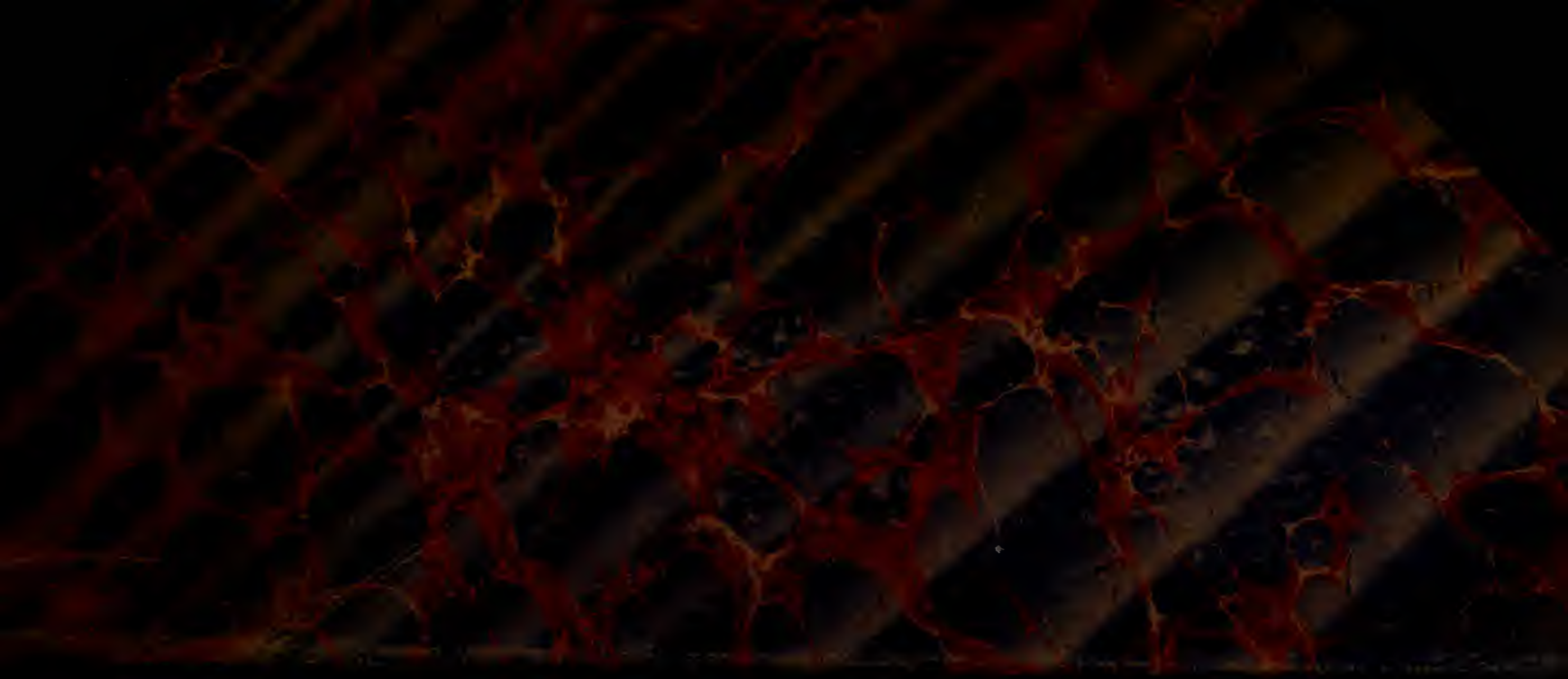


BOSTON
MEDICAL LIBRARY
8 THE FENWAY

896

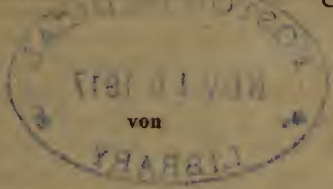
BEITRÄGE

zur

PHYSIOLOGIE UND PHYSIK

des

menschlichen Auges



von

Dr. A. Burow,

Praktischem Arzt, Wund-Arzt und Geburtshelfer, Docent bei der Albertus-Universität zu Königsberg, und Assistenz-Arzt im Königl. Medic. Klinikum der Universität.

Mit XXIV lithographirten Figuren.

Berlin, 1841.

Bei A. Hirschwald.

Gedruckt bei E. J. Dalkowski.

BOSTON MEDICAL
NOV 16 1917
LIBRARY

Dem Herrn

Dr. Johannes Müller,

ordentl. öffentl. Professor der Anatomie und Physiologie an der K. Friedrich Wilhelms-Universität und an der K. medicin.-chirurg. Militär-Academie in Berlin, Director des K. anatom. Museums und anatom. Theaters; Ritter des Rothen Adlerordens 4. Classe; Mitglied der K. Accademieen der Wissenschaften zu Berlin und zu Stockholm, Correspondent der K. Academie der Wissenschaften zu St. Petersburg, der K. Academie der Wissenschaften zu Turin, Mitglied der K. Soc. d. Wissensch. zu Göttingen, Copenhagen und Upsala.

weiht diese Blätter

in aufrichtiger Verehrung

der Verfasser.

Vorrede.

Nur Weniges habe ich den Arbeiten, die ich hiemit dem wissenschaftlichen Publikum übergebe, voranzuschicken. Die erste Veranlassung zu denselben fand ich in einem Augenübel, von dem ich vor einigen Jahren befallen wurde, und das mich zunächst auf, früheren Annahmen über die Adaption widersprechende Beobachtungen hinführte. Die Untersuchung über die Bewegung des Auges und die Richtungslinien des Sehens stellten sich mir als Vorarbeiten dazu. Ich erstaunte nicht wenig, als ich das Werk von Volkmann, dessen Resultate derzeit ziemlich allgemein für wahr angenommen sind, näherer Prüfung unterwarf, und fast alle Versuche, auf die der geachtete Physiologe die wichtigsten Resultate seiner Forschungen gründet, und die ihrer Einfachheit wegen etwas Bestechendes an sich tragen,

bei der Wiederholung zum Theil nicht bestätigt, zum Theil derartig fand, dass ich gerechten Zweifel hegen zu dürfen glaubte, er habe sie wenigstens nicht mit der nöthigen Vorsicht angestellt. Ich verweise zu meiner Rechtfertigung in Bezug hierauf des Beispiels halber nur auf das, was ich pag. 23 u. 63 angegeben habe. Mit Bestimmtheit aber glaube ich die Unhaltbarkeit aller Beweise dargegethan zu haben, aus welchen er den Haupt-Lehrsatz herleitet: Das Auge drehe sich um einen Punkt, welcher gleichzeitig der Kreuzungs-Punkt der Richtungsstrahlen und der Sehstrahlen ist.

Was meine Bestimmung über den Kreuzungs-Punkt der Richtungs-Linien des Sehens betrifft, so gestehe ich ein, dass die Beobachtungen, die ich den Resultaten zu Grunde gelegt, zahlreicher hätten sein können, es wäre dann vielleicht auch möglich gewesen, das Gesetz zu ermitteln, nach welchem der Abstand desselben von der Retina-Fläche bei zunehmender Distanz der Doppelbilder wächst; mein Auge aber, das ohnehin schon durch langen Gebrauch schlechter optischer Instrumente zu sehr gelitten hatte, ertrug die gewaltsame Behandlung, die jene Untersuchungen fordern, nicht ferner,

und ich war genöthigt, mich mit den geringen Resultaten, die ich gewonnen, zufrieden zu stellen. Wer sie zu wiederholen versucht, wird sich davon überzeugen, welche fortgesetzte Uebung sie erfordern, und wie ungeheuer das Auge dabei leidet.

Die Theorie der Accommodation, die ich aufgestellt, scheint mir vor allen andern den Vorzug zu haben, dass ihre Resultate mit den anzustellenden Rechnungen so übereinstimmen, wie es sich bei den vorhandenen Vorarbeiten erwarten lässt. Wie diese durchaus noch nicht ausreichen, wie es namentlich zu hoffen steht, dass neue Ausmessungen, sowohl des Refractions-Zustandes, als auch des Krümmungshalbmessers der verschiedenen Medien bei verschiedenen Augen, von einander sehr abweichende Resultate geben werden, wie gerade eben diese zu erwartende Verschiedenheit für die Richtigkeit der aufgestellten Theorie spricht, habe ich gezeigt; übrigens scheint es mir wahrscheinlich, dass ein gewandterer Mathematiker als ich es bin, mit den gegebenen Andeutungen aus den vorliegenden Messungen Resultate gewinnen könne, die günstiger als die meinigen ausfallen.

Man wird bemerken, dass ich absichtlich, so weit es erlaubt war, Citate gemieden. Wenn es heute zu Tage die geringste Schwierigkeit gewährt, einer jeden wissenschaftlichen Arbeit durch vielfältiges Citiren einen gelehrten Nimbus zu verschaffen, so würde das bei der vorliegenden noch um Vieles leichter gewesen sein, da die Literatur über dieselbe aufs ausführlichste in Treviranus Biologie, Burdachs Physiologie und Huecks verdienstvollem Werke über die Bewegung der Crystalllinse vorliegt.

Welche Aufnahme das vorliegende Werk auch finden werde; das Bewusstsein, dass reger Eifer, die Wahrheit, wenn auch nur in einem kleinen wissenschaftlichen Problem, zu ergründen, meine Untersuchungen geleitet, wird mich auch dann beruhigen, wenn Einzelnes in ihnen sich als irrthümlich durch fernere Arbeiten herausstellen sollte.

BOSTON MEDICAL
NOV 16 1917
LIBRARY

Von der Bewegung des Auges.

Ueber den Muskelapparat des Auges.

Die Bewegung des Auges in der Augenhöhle wird bekanntlich durch sechs Muskeln bewerkstelligt. Die Wirkungs-Art der vier graden ist zu einleuchtend, als dass darüber verschiedene Ansichten unter den Auctoritäten herrschen könnten; anders verhält es sich aber mit den obliquis.

Albin sagt von der Wirkung des oberen schiefen Augenmuskels: er drehe die Pupille abwärts gegen den, unter dem äussern Augenwinkel hervorragenden Theil der Wange, und rolle ihn zugleich von innen und unten nach aussen. Dabei soll er die Fähigkeit haben, den ganzen Augapfel etwas nach vorn gegen den Augenwinkel hin zu ziehen.

Sömmering behauptet, dass dieser Muskel den bulbus vorwärts gegen den innern Augenwinkel zieht und die Pupille nach unten gegen die Wange richtet. Rosenmüller deutet die Wirkung des obliquus superior so, dass durch ihn der Augapfel eine Stellung erhalte bei der die Pupille nach innen und unten gerichtet ist.

Nach Bell und Johannes Müller wird durch den trochlearis der Augäpfel nach unten und aussen gezogen, während Weber meint, dass durch ihn die Sehe abwärts und einwärts gewandt werde, so dass sie nach unten und innen zu stehen kommt.

Ganz dieselbe Ansichtsverschiedenheit herrscht in Bezug auf die Deutung der Action des obliquus inferior. Albin nimmt an, er richte die Pupille aufwärts, gegen den Aussentheil der Augenbraunen und rolle den bulbus von aussen und unten nach innen und etwas nach oben. Dabei soll er ihn in der Richtung nach unten hin hervorziehen. Sömmering behauptet, er stelle die Sehe aufwärts gegen die Schläfe und ziehe zugleich den bulbus gegen die Nase.

Während Rosenmüller ihm eine ähnliche Function zuschreibt, dass er nehmlich die Pupille aufwärts und auswärts wende, sind Weber und Müller der entgegengesetzten Ansicht, indem sie angeben, er stelle die Sehe nach oben und innen. Weber glaubt zugleich, dass durch die vereinigte Action beider schiefen Augenmuskeln das Auge aus der Höhle der orbita etwas nach vorn gedrängt werde, und die Wirkung dieser beiden Muskeln sich der der graden entgegenstelle.

Gesetzt der trochlearis hätte keine weitere Function, als eine der bezeichneten, z. B. das Auge nach unten und aussen zu drehen, weshalb sollte diese Wirkung nicht durch die vereinigte Traction des abducens und rectus inferior hervor gebracht werden können, da ja doch jedenfalls, wenn bei dem rechten

Auge der trochlearis diese Bewegung hervorbringt, der bulbus der linken Seite die entsprechende durch vereinigtes Anziehen des rectus internus und inferior erleiden muss? Wenn dagegen andrerseits der obliquus inferior das Auge nach innen und oben richtet, weshalb kann diese Bewegung nicht aus dem gleichzeitigen Anziehen des rectus superior und internus hervorgehen, da am bulbus der anderen Seite ja jedenfalls die congruente Bewegung durch gemeinsames Wirken des externus und inferior erzeugt wird? Wenn der Ansatzpunkt des rectus inferior verhältnissmässig um vieles näher an der Anheftungsstelle des internus läge, als an der des externus, so wäre es vielleicht denkbar, dass der externus und inferior sich nicht leicht in ihrer Wirkung vereinen könnten, so dass zur Mithülfe bei dieser Bewegung der trochlearis nöthig wäre; indessen zeigt die anatomische Untersuchung, dass die Ansatzpunkte der recti am bulbus ziemlich in gleichen Intervallen liegen, ja selbst dass, wenn zwei einander näher gelagert sind, dieses eher zwischen dem inferior und externus als zwischen jenem und dem internus statt habe; die Vereinigung der Actionen beider erstgenannten Muskeln also am ehesten statt finden könne.

Es ist demnach nicht blos wahrscheinlich, sondern so gut als erwiesen, dass die geraden Augenwinkel nicht bloss die Bewegung nach oben, unten, aussen und innen, sondern auch durch das Zusammenwirken von je zwei an einander gränzenden alle dazwischen liegenden Bewegungen nach aussen und unten, nach

aussen und oben u. s. w. hervorbringen können, und dass demnach die beiden schrägen Muskeln eine andere Function haben müssen.

Wie diese wiederum von grosser Wichtigkeit sei, zeigt der Umstand, dass die Vertheilung der Muskeln des Auges, die sich beim Menschen findet, nicht nur bei allen höheren Säugethieren, sondern in der ganzen Stufenreihe hinab bis zu den Batrachien sich nachweisen lässt.

Ich will zwar gestehen, über diesen Punkt bei fleissig angestellten Untersuchungen an Leichen, Lebenden und an meinem eigenen Auge nicht vollkommen ins Reine gekommen zu sein, doch sei es mir erlaubt, wenigstens versuchsweise eine Erklärung vorzubringen. Legt man von der vorderen Seite her den obliquus inferior blos und zieht ihn in der Richtung seiner Fasern an, so dreht sich jedes Mal das Auge um seine Längenaxe, so dass der Theil des Irisrandes, welcher dem canthus internus entspricht, sich etwas erhebt, der gegenüberliegende etwas herabgedrückt wird. Eine räumliche Verschiebung der Pupille nach irgend einer Gegend hin scheint dabei nicht statt zu finden.*) Bricht man die Dekke der

*) Eigenthümlich ist es, dass selbst durch starke und in gehöriger Richtung angestellte Tractionen an den Augenmuskeln, verhältnissmässig nur sehr schwache Bewegungen des bulbus an der Leiche hervorgebracht werden können, ein Umstand, der die Untersuchung über die Richtung, in welcher die Muskeln wirken, um ein Bedeutendes erschwert. Es scheint dies seinen Grund darin zu haben, dass durch

Augenhöhle von oben her auf und zieht den Bauch der trochlearis an, (die Richtung, in welcher dies geschieht, ist nicht entscheidend, da der Zug des Muskels immer nur in der Richtung von der trochlea bis zum Ansatzpunkte am bulbus erfolgen muss), so bewegt sich die Sehe entschieden nach unten, vielleicht ein klein wenig nach aussen, deutlich aber bemerkt man, dass auch bei der Action dieses Muskels der bulbus um seine Längenaxe herumgewälzt werde; und zwar in entgegengesetzter Richtung als bei der Wirkung des obliquus inferior, indem sich nämlich der Theil des Irisrandes tiefer stellt, welcher mit dem canthus internus in gleicher Höhe stand.

Diese Drehung des Auges um seine Axe, welche man übrigens auch bei Lebenden zuweilen deutlich wahrnehmen kann, wird bei genauer Untersuchung der Insertion beider Muskeln wahrscheinlich.

Während die graden Augenmuskeln sich so am bulbus anheften, dass ihre Befestigungsstellen beinahe einen vollständigen mit dem Irisrande concentrischen Kreis bilden, diese Ansatzpunkte also senkrecht gegen die Augenaxe stehen, bildet die Sehne des trochlearis,

---

den bald nach dem Tode eintretenden Collapsus des bulbus dieser sich beim Zuge der Muskeln zusammen drückt, ohne räumlich seine Stellung zu verändern. Die Richtigkeit dieser Erklärung bestätigt sich dadurch, dass beim Anziehen des levator palpebrae sup. das obere Augenlied sich ganz wie beim Lebenden bewegt, während Tractionen von rectus superior fast gar keine Erhebung des bulbus erzeugen.

indem sie von der trochlea zum bulbus herabgeht, wo sie sich unter dem rectus superior und etwas nach aussen hin festsetzt, eine von hinten nach vorne verlaufende Aponeurose, welche sich in der Richtung der Längenaxe des Auges anheftet, so dass die Anheftungsstelle des trochlearis und die des rectus superior in einem rechten Winkel gegen einander stehen.

Da die Bewegung senkrecht gegen die Anheftungslinie der Aponeurose erfolgen muss, so wird dadurch die Behauptung wahrscheinlich, dass der Zug von der trochlea eine Umwälzung des bulbus um die Längenaxe erzeuge.

Die Art, wie der untere schiefe Augenmuskel sich mit dem Augapfel verbindet, ist ganz ähnlich, indem auch bei ihm die Lage der Ansatzstelle gleichlaufend mit der Augenaxe gefunden wird.

Es fragt sich nun, welchen Zweck die Drehung des Auges um seine Längenaxe haben könne. Um diesen Punkt zu erörtern, sei es mir erlaubt, von einigen bekannten Beobachtungen auszugehen. — Bildet sich ein Gegenstand auf der Netzhaut ab, so hört der Eindruck, den das Bild gemacht, nicht augenblicklich mit dem Schwinden desselben auf, sondern dauert bekanntlich noch eine Zeitlang fort. Dasselbe findet bei dem Weiterrükken eines Bildes auf der Netzhaut statt; die erregte Stelle nimmt die Lichterscheinung noch wahr, wenn sie selbst auch auf ihr nicht mehr statt findet. So glaubt man einen feurigen Kreis zu sehen, wenn eine Kohle schnell in der Luft herumgeschwungen wird.

Aehnlichen Täuschungen würden wir fortwährend bei raschen Bewegungen des Kopfes unterworfen sein, wenn in den Augenmuskeln dem bulbus nicht ein Apparat gegeben wäre, durch den er im Stande ist, das Bild unbewegt auf derselben Stelle der Netzhaut zu fixiren. So verändert sich ohne unser Wissen die Richtung der Augenaxe nicht, wenn wir den Kopf schütteln, ja es hat sogar einige Schwierigkeit bei irgend einer veränderten Stellung des Kopfes die Augenaxen in derselben Richtung gleichzeitig mitzubewegen. Das Richten der Augenaxen nach verschiedenen Stellen des Raums hin, geht so überaus schnell und gleichsam unwillkürlich vor sich, so dass der Kopf erst träge in seiner Bewegung nachfolgt, wenn wir es fühlen, dass die gesuchte Stellung der Augenaxen einen Zwang den sich zusammen ziehenden Augenmuskeln auferlegt. Sind die Bewegungen, welche der Kopf willkürlich oder unwillkürlich macht, so schnell, dass die Augenmuskeln wiederum nicht in der Schnelligkeit ihrer Contractionen ausreichen, um die Stellung der Augenaxe unverrückt zu erhalten, dann leidet auch die Deutlichkeit des Sehens ungemein weil die sich schnell auf der Retina hin und her bewegenden Bilder theils nicht zu vollkommener Perception gelangen können, theils zurückbleibende Erscheinungen verursachen, die das Auffassen der neuen Bilder wieder unmöglich machen.

In dieser Auseinandersetzung ist auch der Grund gegeben, weshalb es uns so schwierig ist, in einem nicht gar zu sanft sich bewegenden Wagen zu lesen.

Wenn es zum genauen Sehen nothwendig ist, dass das Bild möglichst unverrückt an derselben Stelle der Netzhaut stehe, so reichen zwar die recti oculi aus, um beim Senken und Aufheben des Kopfes, beim Stellen desselben nach links und rechts die Augenaxen unverrückt zu erhalten, nicht aber bei der seitlichen Bewegung d. h. bei derjenigen, durch die die Schläfengegend der Schulter genähert oder die Längenaxe des Kopfes in schräge Richtung gebracht wird. Damit bei dieser Bewegung das Auge nicht mit um seine Längenaxe gedreht werde, müssen die obliqui in Thätigkeit treten, und zwar in der Art, dass, wenn man die Schläfe nach der linken Schulter hin senkt, beim linken Auge der trochlearis sich contrahirt, während der obliquus inferior erschlafft, und so der Theil des bulbus, der früher am canthus internus lag, sich jetzt mehr nach der innern und untern Seite der Augenhöhle zu richtet, während beim rechten der obliquus inferior sich contrahirt, der superior erschlafft und auf diese Weise der Theil des bulbus, der früher seiner Lage nach dem innern Augenwinkel entsprach, jetzt nach oben und innen hin sich dreht. Es wird dadurch leicht ersichtlich hervorgebracht, dass immer dieselbe Stelle des Augapfels nach oben liegt, wie auch die Augenhöhle ihre Stelle im Raume verändert.

Bei aufmerksamer Beobachtung kann man diese Drehung des Auges, oder vielmehr dieses Feststehen des bulbus beim Seitlichneigen des Kopfes an sich selbst im Spiegel wahrnehmen und zwar einfach da-

durch, dass man sich die Stellung von einigen kleinen Gefässen der Conjunctiva gegen die Horizontalebne merkt; sie wird unverändert dieselbe bleiben, wie man auch den Kopf seitlich hinüber neigt. Bei mir bildete sich vor einigen Jahren, vielleicht durch den anhaltenden Gebrauch schlechter Microscope, eine Lähmung der Iris mit bedeutender Erweiterung der Pupille aus, ein Zustand, der mich zu vielfachen Beobachtungen über mein eigenes Auge führte, und über den ich im weiteren Verlaufe dieser Abhandlung noch ausführlicher zu sprechen Gelegenheit nehmen muss. Die Erweiterung der Pupille begann mit einem Verziehen derselben nach unten hin, wo der Irisrand sich zuerst verschmälerte und einen Winkel bildete. Während dieser Zeit konnte ich den Versuch auf's entscheidenste an mir anstellen. Welche Richtung auch immer bei seitlicher Stellung des Kopfes die Längenaxe desselben gegen die Längenaxe des Körpers annahm, immer war jene im Winkel verzogene Stelle des Irisrandes nach unten hin gerichtet.

Gewiss wird es eine Stellung geben, bei der der Winkel, um den das Auge rotirt werden müsste, um die absolute Lage des bulbus unverändert zu lassen, allzu gross wird, als dass es den beiden in Rede stehenden Muskeln möglich wäre, die geforderte Bewegung hervor zu bringen; ob alsdann das Auge sich zurückdreht, so dass beide Muskeln erschlaffen, lässt sich wohl durch directe Versuche nicht ermitteln. Es scheint etwas Aehnliches vorzugehen, wie man bei genauer Selbstbeobachtung glauben sollte, denn

wenn man den Kopf sehr weit nach der einen Schulter herabneigt, so stellt sich zuerst ein unangenehmes Spannen im Auge ein, das plötzlich schwindet; bei einer eigenthümlichen, nicht näher zu beschreibenden Intention aber willkürlich wieder zurück gerufen werden kann.

Ich gestehe zu, dass ich die aufgeführte Ansicht über die Action der obliqui durch die angeführten Beobachtungen nicht bis zur Evidenz erwiesen, glaube sie aber in hohem Grade wahrscheinlich gemacht zu haben.

Wenn ich bei den vorstehenden Untersuchungen auf Valentins Ansicht über den vorliegenden Gegenstand nicht eingegangen bin, so liegt der Grund hievon nur darin, dass seine Meinung über die Action der Muskeln des Auges, d. h. über die Wirkung, die sie bei ihrer Contraction auf die Stellung des Auges hervorbringen, mit dem früher auseinander gesetzten durchaus nicht zusammengebracht werden kann. Valentin kennt keine andere Function des trochlearis, als die den Augapfel nach unten und aussen zu ziehen, und nimmt eben so an, dass der obliquus inferior das Auge nach oben und innen stelle.

Da er auf diese beiden Angaben, als auf unbestreitbare Axiome, fortbaut, so kann natürlich das, was er ferner darauf gründet, nicht mit dem übereinstimmen, was ich auseinander gesetzt habe.

Valentin behauptet, dass diejenigen Muskeln, welche vom unteren Aste der Oculomotorius ihre Zweige erhalten, automatisch, die, welche sie vom

oberen empfangen, willkürlich seien, so dass der ganze Apparat gleichsam zwei Halbkreise bilde, von denen der eine von willkürlichen, der andere von unwillkürlichen Muskeln zusammen gesetzt wird. Zu den ersten rechnet er den rectus superior, externus und obliquus superior, und als automatisch ihnen entgegengesetzt betrachtet er den inferior internus und obliq. inferior.

Der Beweis, den er hierfür angiebt, und den er selbst für nicht entscheidend hält, ist etwa dieser: dass der rectus superior und der levator palpebr. superior. willkürlich seien, bedarf keines Beweises, obgleich er einen dafür anführt. *)

Der Hauptgrund, weshalb Valentin den obliquus inferior und rectus internus für automatische Muskeln hält, ist der Umstand, dass das Auge im Schlafe nach oben und innen gerollt werde. Müller hat meiner Ansicht nach diese Stellung des Auges viel richtiger aus der Praevalenz des gesammten oculomotorius über den abducens erklärt, jedenfalls aber scheint es mir nicht abzuleugnen, dass bei der erwähnten Stellung des Auges im Schlafe, der vorzugsweise will-

*) Ich bekenne offen, diesen Beweis nicht zu verstehen. Bei einem Affen wurde der muscul. rectus superior durchschnitten; es hörte die Fähigkeit, das Auge willkürlich zu bewegen, auf, sogleich aber bewegte es sich dennoch, wenn die äussere Oberfläche des bulbus mit einer Feder gereizt wurde. Man sollte denken, dass, wo eine Muskel durchschnitten wird, jede Bewegung unter allen Umständen unmöglich ist.

kürliche rectus superior mit im Zustande der grösseren Anspannung sein müsse.

Weshalb der Abducens, den Niemand isolirt, oder auf beiden Seiten zugleich bewegen kann, nach Valentin vorzugsweise willkürlich sei, ist mir nicht erklärlich; er scheint mir, wenn irgend einer, unserer Willkür entzogen. Jeden anderen der recti können wir zugleich mit dem der anderen Seite, den nach Valentin automatischen internus sogar auf einer Seite allein zur Zusammenziehung bewegen, der Abducens tritt aber immer nur bei der Contraction des internus der anderen Seite in Thätigkeit, und nur sehr wenige Menschen können es durch fortgesetzte Uebung dahin bringen, den internus wirken zu lassen, ohne dass der externus der anderen Seite sich mit zusammenzieht.

Associirte Bewegungen des Auges.

In Bezug auf die Bewegungen der Augen in der Augenhöhle ist es jedenfalls ein eigenthümliches, bis jetzt nur theilweise gelöstes und erst in der neueren Zeit in Anregung gebrachtes Problem, dass bei symmetrischer Anordnung der Muskeln die Bewegungen nicht symmetrisch, sondern congruent von statten gehen, so dass z. B. bei der Zusammenziehung des Abducens der einen Seite der rectus internus auf der anderen sich contrahirt. Bei den Wirkungen des rectus superior und inferior fällt diese Einrichtung nur scheinbar weg,*) weil hier Symmetrie und Con-

*) Einige und namentlich auch Valentin haben behauptet, dass die recti inferiores sich nur bis zu einem gewis-

gruenz der Bewegung identisch sind, und tritt augenblicklich wieder zu Tage, so wie sich mit der Elevation oder Depression des bulbus eine Seitwärtsbeugung vereinigt.

Denn wenn mit der Contraction des rectus superior sich der externus der einen Seite verbindet, muss sich mit ihm auf der anderen der internus vergesellschaften, so dass das eine Auge sich nach oben und aussen stellt, während das andere sich nach oben und innen richtet. Dabei sind wir überhaupt nur solche Bewegungen mit den Augen hervorzubringen im Stande, bei welchen sich die Augenaxen in irgend einem Punkte noch schneiden würden, d. h. wir können willkürlich die recti interni zusammen wirken lassen, um beim Nahesehen den Schnittpunkt der Augenaxen in die erforderliche Nähe zu verlegen, gleichviel ob diese Bewegung isolirt geschieht (beim Nahesehen in horizontaler Richtung) oder vergesellschaftet mit

---

sen Grade der Contraction zusammen bewegen könnten, ohne dass zugleich der internus einer jeden Seite mit in Thätigkeit versetzt werde; und demnach das Auge, wenn es stark nach unten gestellt würde, sich unwillkürlich auch zugleich nach innen schiebe. Es scheint dies nicht in einem eigenthümlichen, in der Nervenvertheilung bedingten Consensus zwischen den genannten Muskeln, wie Valentin angiebt, sondern wohl nur in dem Umstande seinen Grund zu haben, dass man gewöhnt ist, ein sehr nahe gelegenes Object zu fixiren, wenn man die Augenaxe ganz nach unten richtet; wird man sich dessen erst bewusst, so kann man es durch die Intention, einen entfernten Gegenstand zu sehen, leicht vermeiden.

der Action der oberen oder untern Augenmuskeln (beim Nahesehen eines nach oben oder unten gelegenen Gegenstandes). Richtet sich das Auge wiederum so ein, dass die Convergenz der Axen geringer wird, so geschieht dies keinesweges durch gleichzeitige Contraction der beiden externi, sondern nur durch das Nachlassen der Spannung, in der die beiden innern Augenmuskeln sich befanden. Stehen die Augenaxen vollständig oder beinahe parallel, so sind alle Muskeln im Zustande gleichmässiger Erschlaffung. Ueber diesen Punkt hinaus ist keine gemeinsame Thätigkeit der abducentes denkbar, weder in ihrer isolirten Wirkung noch in ihrer Verbindung mit den rectis superioribus und inferioribus.

Diese Eigenthümlichkeit in der Muskelbewegung des Auges scheint in der Vertheilung der für die Muskeln bestimmten Nerven begründet. Unter den zwölf Hirnnerven sind drei, die nach oben ein aus so verschiedenen Hirntheilen entspringen, nur für die sechs kleinen Augenmuskeln bestimmt; eine Einrichtung, die sich bis tief hinab in die Reihe der Wirbelthiere verfolgen lässt und sich selbst bei den Ophidiern und Batrachiern vorfindet.

Betrachten wir zuerst die Nerventheilung in den geraden Augenmuskeln. Die drei von ihnen (obern, untern und innern), welche Zweige des gemeinsamen Stammes von oculomotorius erhalten, können sich in ihrer Thätigkeit associiren, wogegen der abducens immer die entsprechende Wirkung des internus der anderen Seite fordert, gleichviel ob er isolirt wirkt oder

sich mit einem der benachbarten graden Augenmuskeln verbindet.

Diejenigen antagonistischen Muskeln also, deren Wirkung Bewegungen hervorbringen, die symmetrisch und congruent zu gleicher Zeit sind, (der rectus superior und inferior) erhalten nur vom oculomotorius Zweige; um es möglich zu machen, dass sich unsymmetrische Muskeln associiren, musste für einen derselben ein besondrer Hirnnerv da sein; der abducens.

In wiefern sich diese Ansicht mit auf die Nervenvertheilung für die schiefen Augenmuskeln ausdehnen lasse, scheint mir noch nicht mit Bestimmtheit festzusetzen möglich, da ja über die Function dieser Muskeln selbst sich unter den grössten Auctoritäten noch verschiedene Ansichten vorfinden. Wäre die oben gegebene Darstellung über die Wirkung der schiefen Augenmuskeln die richtige, so würde auch hier ein ähnliches Verhältniss sich herausstellen, wie bei dem musculus internus und externus. Damit sich nämlich immer nur unsymmetrische Muskeln gleichzeitig contrahiren könnten, hat einer derselben einen besonderen Hirnnerven erhalten müssen. Die beiden gleichen Muskeln der verschiedenen Seiten, die trochlearis und die obliqui inferiores, können sich auch nicht zu der kleinsten Bewegung associiren, während doch etwas derartiges bei den äusseren und inneren Augenmuskeln einzutreten scheint.

Wenn wir nämlich einen nahen Gegenstand fixirt haben und nun das Auge auf einen entfernten rich-

ten, so sollte man diese Bewegung des bulbus von der associirten Contraction der externii erzeugt glauben. Ich habe aber bereits oben eine andere Erklärung zu geben gesucht. Es ist jene erwähnte Bewegung nur sehr gering, und kann immer nur soweit geschehen, dass die beiden Augen-Axen den Parallelismus sich nähern. Die eigentliche Contraction eines der Abducentes tritt immer erst in Verbindung mit der Zusammenziehung des internus der entgegengesetzten Seite ein, während das Zurückweichen des Auges, vermöge dessen dasselbe seine Axen parallel stellt, hinlänglich durch das Nachlassen der Zusammenziehung der beiden interni erklärt wird.

Geschähe es durch eine wirkliche Anspannung der äussern graden Augenmuskeln, so liesse sich kein Grund ersehen, weshalb dieselbe eben nur bis zu dem oben bezeichneten Grade geschehen könnte.

Vom Drehpunkte des Auges.

Wenn man den Finger an den Rand der Augenhöhle legt und dabei den Augapfel willkürlich bewegt, so fühlt man bei den verschiedenen Stellungen des letztern keinesweges einen vermehrten oder verminderten Druck. Es wird daraus wahrscheinlich, dass das Auge sich um einen Punkt drehen müsse, der in der Nähe der Mitte seiner Kugel liegt. Dass alle Bewegungen des Auges nur um Punkte in der Augenaxe vor sich gehen können, folgt schon daraus, dass wir, um einen Gegenstand zu fixiren, die Augenaxe nach demselben hin richten müssen. Es wäre nun zu ermitteln:

1) Ob diese Drehungen alle um einen einzigen Punkt von Statten gehen? und
2) An welcher Stelle derselbe liege?

Folgender Versuch erweist schon mit ziemlicher Evidenz, dass das Auge nur um einen Punkt sich drehe.

Man lege den untern Rand der Augenhöhle gegen die Kante eines Tisches und fixire auf diese Weise soviel als möglich den Kopf. Ein Gehülfe ordne nach der Angabe des Beobachters auf der Fläche des Tisches drei lange, möglichst genau gearbeitete Stäbe, (ich bediente mich zu dem Versuche drei metallener Maassstäbe von 1 Fuss Länge und ¼" Dicke und Höhe) in der Art, dass, wenn das Auge abwechselnd von einem Stabe zum anderen hinüber geführt wird, immer eine Kante des letzten, genau in der Augenaxe liegend, erscheine. Man hat sich natürlich wohl dabei zu hüten, dass man beim Drehen des Auges nicht den Kopf mit bewege. Darauf entfernt man das Auge und zieht in der Richtung der Kanten, deren Lage der Augenaxe entspricht, Linien, die sich alle drei in einem Punkte, dem Drehpunkte des Auges, schneiden werden.

Sicher können die Resultate dieses Versuchs eben so wenig sein, als die einer Modification desselben, den ich nachträglich in Poggendorfs Annalen 1837. Heft 9. pag. 66 und figg. von Professor Mile angegeben finde und der im Ganzen auf derselben Idee beruht, da kleine Fehler in der Beobachtung schon bedeutende Differenzen hervorbringen müssen.

Ich habe mich deshalb zur genauern Beweisführung und zugleich zur Bestimmung der Entfernung des Drehpunktes von dem vordersten Punkte der Hornhaut eines von Volkmann (Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes) zu einem anderen Zwecke angegebenen und nur wenig modifizirten Apparates bedient, dessen Beschreibung ich hiemit gebe. Die Einrichtung desselben ist nach Volkmann diese:

Ein Brettchen von etwa 10 Zoll Länge ist in der Nähe der Ecke seiner schmäleren Seite mit einem Ausschnitte für die Nase versehen. (Fig. I.) Auf demselben ist in der Richtung einer Längslinie bc, welche der Axe des Auges entspricht, also senkrecht die Cornea trifft und auf die Mitte der Pupille ausläuft, in b, ein Haarvisir etwa 6″ vom Auge entfernt und in c, ein Diopter angebracht. Von b aus ist eine senkrechte Linie gezogen und einen Zoll von b entfernt in d ein zweites Haarvisir aufgestellt. Das Haar dieses Haarvisirs bildet den Mittelpunkt eines im Kreise beweglichen Lineals, das nach vorn in ein Kreisstück k endigt, und auf seiner Mitte ein Diopter f trägt. Das Kreisstück k bewegt sich gegen einen auf dem Brettchen befestigten Kreistheil, der gleichfalls seinen Mittelpunkt in d hat und auf dem halbe Grade markirt, während auf dem Kreisstücke des Lineals 9 solcher halber Grade in 10 Theile getheilt sind. Auf diese Weise kann man bei Verschiebung des Lineals die Grösse des Winkels, um welchen die Verschiebung stattfindet, bis auf 3 Minuten genau ablesen.

Am Ende der Linie bc ist ein kleiner Maassstab angebracht, auf dem ein zur Seite stehender Gehülfe den Abstand des vordersten Punktes der Cornea vom Haarvisir b abliest.

Ich modificirte in so fern diesen Apparat, als ich die Entfernung der beiden Haarvisire bd veränderte und 10‴ gross machte, um die Volkmannschen Resultate auch bei veränderten Grössen bestätigt zu finden, und auf der anderen Seite von bc ein zweites verschiebliches Linial lm mit Haarvisir l, Diopter p und einen eben so wie auf der anderen Seite construirten Winkelmesser anbringen liess.

Dieses Instrument stellt man gegen Nasenwurzel und Augenhöhlenrand, so dass man durch das Diopter c das Haarvisir b deckt, fixirt dann durch Drehen des Auges das Haarvisir d und schiebt das Lineal df soweit vor, bis das Haar d in der Mitte des Diopter f erscheint. Davon, dass das Instrument seine Stellung nicht verändert habe, überzeugt man sich, indem man beim Wenden des Auges nachsieht, ob das Haar in b noch in der Mitte des Haarvisirs c sich befinde. Man verfährt dann auf der entgegengesetzten Seite ebenso, indem man durch Verschieben des Lineals das Haarvisir l in die Mitte des Diopter p bringt und überzeugt sich dann nochmals, ob bei den verschiedenen Stellungen des Auges alle drei Diopter die Haarvisire decken.

Entfernt man nun vorsichtig das Instrument, so wird man, falls bd = bl gemacht, wie es bei meinem

Apparate der Fall ist, stets an den beiden Kreisabschnitten gleiche Winkel beobachten, und hat man im Anstellen des Versuchs einige Uebung erlangt, so findet sich bei der Ablesung die Gleichheit der Winkel bewunderungswürdig genau, so dass etwanige kleine Differenzen nur auf die Unvollkommenheit des Instruments zu schieben wären.

Es folgt daraus, dass alle drei Linien lp, bc und df, welche die Richtung der Augenaxe bei den drei verschiedenen Stellungen des Auges angeben, sich in einem Punkte, dem Drehpunkte des Auges, schneiden müssen.

Man kann aber auch durch dieses Experiment die Entfernung des Drehpunktes von der vorderen Fläche des Auges erfahren, wenn nemlich während des Versuchs ein zur Seite stehender Gehülfe auf dem Maassstabe z die Entfernung des vordersten Punktes der Hornhaut von b abliest. Von dem rechtwinklichen Dreiecke nemlich, welches die verlängerte Linie df als Hypotenuse, die verlängerte Linie bc zur einen und bd zur anderen Kathete hat und in dessen Spitze der Drehungspunkt liegt, den wir x nennen wollen, sind die Winkel durch die Ablesung, und die eine Seite $bc = 10''$ bekannt.

Durch eine einfache trigonometrische Rechnung kann man also die längere Kathete bx bestimmen und erhält die Entfernung des Drehpunktes von der Hornhaut, indem man die abgelesene Entfernung der letzten von dem Haarvisir b, von der berechneten Grösse subtrahirt.

Nach meinen Messungen liegt der Drehpunkt meines rechten Auges 542 Linien hinter der vordersten Stelle der Hornhaut. Diese Angabe ist als Mittel aus 40 Ablesungen gewonnen, von denen die eine Hälfte so angestellt ist, dass das bewegliche Diopter von aussen nach innen geführt, bei 20 Ablesungen von innen nach aussen bewegt wurde, um in die gesuchte Stellung zu gelangen. Das Maximum der Schwankung war 0,8‴.

Volkmann*) nimmt an, die Drehung des Auges erfolge um einen Punkt, welcher gleichzeitig der Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen und der Sehstrahlen sei, und bestimmt den Drehpunkt aus dem letzten. Das Resultat, zu welchem er in Bezug auf die Lage des Drehpunktes gekommen, stimmt im Ganzen zwar mit den Ergebnissen meiner Untersuchungen überein, da ich aber weiter unten Gelegenheit haben werde, evident zu erweisen, dass der Drehpunkt und der Kreuzungspunkt der Sehstrahlen in Volkmann's Sinne nicht identisch seien, so kann, glaube ich, die Art und Weise, wie er den ersten bestimmt, nicht als ausreichend angenommen werden.

Um diese Behauptung zu begründen, liegt es mir zuvörderst ob, die Unhaltbarkeit der Beweise, welche Volkmann für den Satz: das Auge dreht sich in allen seinen Bewegungen um einen Punkt, welcher

*) Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes p. 34 und folg.

gleichzeitig der Kreuzungs-Punkt der Sehstrahlen und der Richtungsstrahlen ist, darzuthun. Die Widerlegung des ersten Beweises bin ich genöthigt, für eine spätere Stelle aufzusparen; in Bezug auf den zweiten bemerkt Volkmann sehr richtig, dass wenn die Bewegung des Auges in der Rotation desselben um einen festen Punkt im Innern seiner Höhle besteht, es nöthig sei, dass diese correspondirenden Punkte beider Augen stets gleichweit von einander entfernt wären, gleichviel ob ihre Axen mehr oder weniger convergent beim Nahe- und Fernsehen stehen.

Um dies in einem Versuche durch Rechnung und Beobachtung zu zeigen, nahm er ein Brettchen, das an der einen Seite einen, der Krümmung der Nasenwurzel entsprechenden Ausschnitt hatte und auf dem bei r und s (vergleiche Fig. II) Diopter angebracht waren, die nach links und rechts hin verschoben werden konnten. Nachdem nun in der Richtung der Mittellinien bei c eine Nadel festgesteckt, wurde das Brettchen vor die Augen gestellt und die Diopter in die Stellung gebracht, in der die Nadel für beide Augen in der Mitte derselben zu stehen schien; durch Diopter und Nadel war nun der Winkel bei c als messbar gegeben.

Die Entfernung der Punkte d und e, als der Kreuzungs-Punkte der Richtungsstrahlen vom vordersten Punkte der Hornhaut, nimmt Volkmann aus früheren Versuchen als bekannt an, und da die Entfernung des vordersten Punktes der Hornhaut von c mit dem

Zirkel messbar, so ist nach seiner Rechnung das Dreieck dce, also auch die Länge von de bestimmt. Wird nun an einer andern Stelle z. B. in x die Nadel aufgesteckt, und jedes Diopter so gestellt, dass, wie bei der ersten Ablesung, dieselbe in der Mitte des Einschnittes erscheint, so ist in ähnlicher Weise das Dreiek xde und also auch der Abstand der beiden Drehpunkte de bestimmt, welche Grösse bei den verschiedensten Ablesungen unveränderlich erscheint. Als überzeugend für die Richtigkeit der Rechnung giebt Volkmann an, dass sich Differenzen in den Beobachtungen erst in der zweiten Decimale gefunden hätten; da aber die Zahlen Zollmasse angeben, so wären freilich Schwankungen in der ersten Decimale, die also Beobachtungsfehler von 1¼ Linien geben, derartig, dass sie die ganze Rechnung ungültig machten.

Nehmen wir einen bestimmten Fall an und führen an demselben die Rechnung durch. Da cd = ce angenommen werden muss, so ist die Länge von

$$\tfrac{1}{2}\,de = dc \cdot \sin \tfrac{1}{2}\varphi$$

dc soll aber gleich sein: der gemessenen Grösse ac, der Entfernung des vordersten Punktes von der Hornhaut, + der Entfernung des Kreuzzungspunktes der Sehstrahlen (den Volkmann als mit dem Drehpunkte identisch annimmt) vom vordersten Punkte der Augenaxe.

Gesetzt dc wäre = 10″
der Winkel φ = 11°
so wäre ½ de = 1,917″

Wenn man aber annimmt, dass die Messung des

Winkels auch mit der grösstmöglichsten Genauigkeit geschehen sei, so würde sich dennoch ein Schwanken innerhalb eines halben Grades durchaus jeder Beobachtung entziehen, setzen wir aber $\frac{1}{2}\varphi$ nur um 10 Minuten kleiner, so wird dadurch, wie die Rechnung zeigt, sogleich eine Differenz von $1\frac{1}{2}'''$ in der Länge de hervorgebracht.

Es folgt also hieraus, dass der Versuch in der Art, wie ihn Volkmann anstellt, zu keinem Resultate führen kann, weil schon die kleinsten Schwankungen in der Beobachtung Fehler im Resultate herbeiführen, deren Grösse den Versuch selbst über den Haufen stösst.

Wäre Volkmann's Prämisse richtig, dass nämlich der Drehpunkt des Auges mit dem Kreuzzungspunkte der Sehstrahlen zusammen fiele, (wir werden aber weiter unten sehen, dass diese Annahme sehr bedeutenden Zweifeln unterliegt), so würde man auf einem anderen Wege als dem, den Volkmann anstellt, vielleicht zum Resultate gelangen. Den Winkel φ hätte man nicht unmittelbar zu messen, da dergleichen Winkelmessungen immer viel zu ungenau ausfallen, sondern aus den Seiten eines vollkommen gegebenen Dreiecks zu berechnen; denn da die Entfernung der beiden Diopter mit grosser Genauigkeit abgelesen werden kann, so ergiebt sich:

$$\text{Sin } \tfrac{1}{2}\varphi = \frac{\frac{1}{2}\,rs}{rc}$$

Um nun de zu finden, hätte man das Dreieck zse, das durch eine Seite und zwei Winkel bestimmt ist, zu berechnen.

Von diesem Dreieck ist aber bekannt:
se = sb (als messbar), + be (der Entfernung des Kreuzzungs-Punktes der Sehstrahlen von der Hornhaut)

$< zse = \frac{1}{2}\varphi$ und $bez = 90° - \frac{1}{2}\varphi$.

Hätte man auf diese Weise ze gefunden, so müsste man den doppelten Werth desselben zu rs hinzuaddiren, um de zu erhalten.

Gesetzt eine solche Deduction wäre genau genug, so würde man durch dieselbe doch zu keinem anderen Schlusse berechtigt sein, als zu dem, dass die Drehungen des Auges um einen Punkt in der Augenhöhle vor sich gehen, und man würde die Lage dieses Punktes bestimmen können. Ueber die Richtung der Sehstrahlen giebt der Versuch nicht den geringsten Aufschluss, da bei demselben immer nur Objecte mit directem Sehen fixirt werden, Objecte, deren Bild sich im gelben Fleck darstellt, und die im Raume natürlich immer in der Richtung der Augenaxe gesehen werden müssen.

Ist es mir also erlaubt, das Resultat der eben gegebenen Betrachtungen zusammen zu fassen, so sehen wir aus denselben, dass das Auge sich um einen in der Nähe seiner Mitte liegenden Punkt dreht, dass die Lage dieses Punkts von Volkmann ungefähr richtig bestimmt sei, dass aber die Art der Bestimmung auf einem irrthümlichen Verfahren beruhe, und die Beweise, welche Volkmann vorbringt, um die Identität des Drehpunktes und des Kreuzzungs-Punktes der Sehstrahlen und Richtungsstrahlen darzuthun nicht ausreichend seien.

Von den Richtungslinien des Sehens.

Das Auge der höheren Thiere besteht aus collectiven Medien, welche die Bestimmung haben, die durch die Oeffnung der Pupille hindurch dringenden Strahlen auf der Netzhaut zu einem Bilde zu sammeln. Die Brechung in jenen Medien ist aber eine dreifache.

Betrachten wir den einfachsten Fall: das Auge hat sich auf einen Punkt hingerichtet; von demselben geht ein Strahlenkegel aus, dessen Grundfläche die Oeffnung der Pupille, dessen Spitze der leuchtende Punkt selbst ist. Der senkrecht durch die Mitte der Hornhaut gehende Strahl, der zugleich die Mitte des bezeichneten Lichtkegels ist, wird bei seinem Durchgange bis zur Netzhaut seine Richtung nicht verändern, jeder andere aber abgelenkt werden, und zwar zum ersten Male beim Eintritte aus der Luft, einer dünnen Flüssigkeit, in die wässrige Feuchtigkeit eine dichtere, die gegen die erste mit einer convexen Oberfläche der Hornhaut angränzt. Es werden hier alle Strahlen dem erst beschriebenen, von seiner Richtung nicht abgelenkten Axenstrahl zugebrochen.

Durch die Pupille hindurch gelangt, treten also die Strahlen, schon gegeneinander convergirend aus

der wässrigen Feuchtigkeit in das dichtere Medium der Linse; da hinter der Linse der durchsichtige Glaskörper, ein Medium von geringer Dichtigkeit sich befindet, so erleiden auf diesem ganzen Wege, da dieselben äusseren Umstände obwalten, die Strahlen eben jene Veränderung, die über die Wirkung der Linsen im allgemeinen bekannt sind; d. h. sie erhalten eine immer mehr zu einander convergirende Richtung, vermöge deren sie sich endlich in einem Punkte vereinigen.

Man ist noch darüber im Streite, ob mehr durch die Wirkung der Linse, oder mehr durch die Krümmung der Hornhaut die Zusammenbrechung der durch die Pupille hindurch gehenden Sehstrahlen geschehe. Es scheint, als ob man sich über diesen Punkt durch eine einfache und entscheidende Beobachtung belehren könne.

Nach der Operation des grauen Staars nämlich ist die Linse bekannter Weise aus dem Wege entfernt, den die Lichtstrahlen im Auge zurückzulegen haben, und zum Ersatz ihrer Function wird dem Operirten ein stark convexes Glas vor das Auge gestellt. Die Cornea mit den dahinter liegenden Flüssigkeiten hat nicht Brechungsfähigkeit genug, um die ins Auge einfallenden Lichtstrahlen auf der Netzhaut zu concentriren, und man vermehrt daher diese Brechungsfähigkeit durch die davorgestellte Staarbrille. Da nun die Entfernung der Brille von der Cornea gemessen werden kann, die Fokaldistanz derselben aber und die Entfernung, in der die Strahlen, nachdem sie durch Glas und Auge hindurchgegangen sind, sich vereinigen, als der Abstand der retina vom vor-

dersten Punkte der Hornhaut bekannt ist, so kann man auf diese Weise berechnen, in welcher Entfernung sich die Strahlen concentriren, wenn sie nur durch die cornea und die wässrige Feuchtigkeit hindurchgehen, d.h. welche Brechungsfähigkeit der Cornea-Krümmung mit Einschluss der dahinterliegenden Feuchtigkeit ohne die Linse zukommt*). Gewöhnlich bedienen sich Staaroperirte einer Brille von 2 Zoll Brennweite, um in die Weite also bei fast parallel auffallendem Lichte deutlich zu sehen. Die Entfernung, in der eine solche Brille gewöhnlich vor dem Auge steht, mag etwa 6‴ gross sein.

Setzt man nun diese Grösse = e die Brennweite der Staarbrille = p die Fokal-Distanz der cornea = p, so tritt die Vereinigung der durch dieses System hindurchgehenden Strahlen ein in einer Entfernung

$$P = \frac{p_{,}(p-e)}{p_{,}+p-e}$$

wobei P von der Cornea aus gemessen wird.

P aber ist als bekannt anzunehmen, es ist die Entfernung des Retina-Bildes von der Cornea, also die Länge der Augenaxe etwa = 10‴. Da p, die gesuchte Grösse ist, so erhält man

---

*) Es wird besser sein, diese Beobachtung an solchen Individuen zu machen, bei denen die Reklination vorgenommen ist, weil hier bei einem günstigen Erfolge der Operation das Sehvermögen am vollständigsten hergestellt wird, und dann auch durch den Hornhautschnitt leicht, beim Wiederansammeln der wässrigen Feuchtigkeit, die Krümmung der Hornhautfläche sich verändern könnte.

$$p_{,} = \frac{-P\,(p-e)}{P-p-e}$$

also $p_{,} = 22\frac{1}{2}'''$

Es folgt daraus, dass zur Vereinigung der Strahlen auf der Netzhaut des Auges die Linse fast eben soviel beiträgt, als die Krümmung der Hornhaut mit den andern brechenden Medien zusammen.

Es ist diese Annahme selbst in der neuesten Zeit vielfach bestritten worden. Mile sucht z. B. aus der Refractionskraft der Linse im Verhältniss zu den umgebenden Medien und den Radien, nach denen ihre Flächen gekrümmt sind, zu erweisen, dass die Strahlen beim Austritt aus der Linse eben so weit wieder von dem Axenstrahl abgelenkt werden, als sie demselben bei dem Eintritt zugebrochen worden sind.

In wieweit die Erfahrung das Gegentheil davon beweist, ist eben gezeigt, aber es lassen sich auch die Gründe, die er zur Unterstützung seiner Behauptung aufführt, widerlegen. Seine Rechnungen stützen sich auf die Brewsterschen Angaben von der Refractionskraft der Medien des Auges, die er mit den Sömmeringschen Bestimmungen über die Krümmung ihrer Oberflächen in Verbindung bringt. Was die Brewsterschen Resultate betrifft, so will ich nicht wagen, ein Urtheil über die Richtigkeit derselben zu fällen. Die Krümmungen der Hornhaut und Linse und die Entfernungen der brechenden Medien von einander an einem todten Auge bis auf Zehntheile der Linien auszumessen, scheint mir aber unausführbar, weil auf der einen Seite gleich nach dem

Tode ein so grosser Theil der Feuchtigkeiten des Auges verloren gegangen ist, dass dasselbe seine feste gedrungene Gestalt verliert, leicht eindrückbar und welk wird, auf der anderen aber das Durchschneiden der bekanntlich so sehr festen Augenwandungen nothwendigerweise eine bedeutende Dislokation der Theile gegen einander hervorbringen muss, die nur nach Gutdünken gehoben werden kann.

Abgesehen aber davon zeigt die oben angeführte Rechnungs-Art von Mile die Unzuverlässigkeit der Angaben, auf die sie gestützt ist, denn es würden nach ihr selbst parallele Strahlen erst hinter der Netzhaut ihre Vereinigung finden können.

Zu demselben Resultate wurde auch D. Senff geführt, (vergl. A. Hueck, über die Bewegung der Crystalllinse; Anhang) der die Brewsterschen Angaben mit den Messungen von Krause zusammenstellte und auf die Weise ein Resultat erhielt, nach welchem die Vereinigung paralleler Strahlen erst 3 Linien hinter der Netzhaut statt fände.

Wenn nach Mile's Ansicht die Linse hindurchgehende Strahlen eben so weit beim Austritt ablenkte, als sie beim Eintritt dem Axenstrahl zugebrochen waren und durch sie nur ein Achromatismus des Auges bewerkstelligt würde, so müssten die Staaroperirten natürlich alle Bilder farbig sehen, eine Beobachtung, die soviel ich weiss noch Niemand gemacht, während die übergrosse Fernsichtigkeit der Operirten constant beobachtet wird.*)

*) Es ist übrigens nicht zu läugnen, dass es auch Staaroperirte giebt, die nicht fernsichtig sind; ich habe sogar

Der Punkt, in welchem die Spitze eines, in der Richtung der Axe auf's Auge fallender Strahlenkegel sich befindet, liegt in der Nervenhaut des Auges, und zwar im gelben Flecke, dem hintern Ende der Augenaxe.

Es ist dies die einzige Stelle des Auges, auf welcher ein Bild zur vollständig deutlichen Perception gelangt; die geringere Deutlichkeit seitlich von dem gelben Flecke gelegener Bilder, selbst wenn sie sehr nahe an demselben sich darstellen, kann jeder aus eigener einfacher Beobachtung erfahren.

So wenig das Auge beim Erkennen der Buchstaben eines gedruckten Buches angestrengt wird, so vermag doch Niemand anders zu lesen, als indem er die Augenaxen über die Zeilen der Länge nach fortbewegt, d. h. indem er die einzelnen Buchstaben nach der Reihe in die Augenaxe bringt, und einen nach dem anderen auf der Fläche des gelben Flekkes sich abbilden lässt. Es ist dies sogar dann nöthig, wenn die Zeile, die man zu übersehen hat, nur 1½″ lang, ihr Bildchen auf den Nerven somit also nur überaus klein ist, und die Fläche des gelben Flecks kaum überragt. Ein jeder, der sich selbst beobachten gelernt hat, weiss das aus eigener Erfahrung; an jedem Andern kann man es mit Bestimmtheit sehen, wenn man bei einem Lesenden die Bewegungen des von der Fläche der Hornhaut zurückgespiegelten Bildchens eines lichtreichen Gegenstan-

---

im Laufe des Sommers 1839 eine Operirte gesehen, die sehr kurzsichtig war, und bei der der Scheinersche Versuch vollständig dieselben Resultate, wie bei mir, gab.

des, z. B. eines Fensters, betrachtet. Eben daher kommt es auch, dass wenn wir eine architectonische Figur oder eine Arabeske betrachten, das Auge unwillkürlich längs den einzelnen Windungen derselben sich fortbewegt, jeden Punkt mit der Stelle des schärfsten Sehens in der Nervenhaut gleichsam betastend, wie die Hand des Blinden den ihm dargereichten Körper untersucht.

Wir können das Sehen eines Punktes, auf den wir die Augenaxe gerichtet haben, dessen Bild sich also an dem am schärfsten empfindenden Punkte der Netzhaut abbildet, das directe Sehen nennen und unter dem Worte indirectes Sehen das Wahrnehmen der Bilder an anderen Netzhautstellen, auf deren Objecte im Raume also die Augenaxe nicht gerichtet ist, verstehen.

In der undeutlichen Empfindung auf seitlichen Theilen der Netzhaut ist gleichsam der moralische Zwang für die Stellung der Augenaxen, nach dem zu betrachtenden Gegenstande hin gegeben, die ganz bestimmt dem Neugeborenen etwas noch zu erlernendes, gewiss aber auch die erste Kunstfertigkeit ist, die der Mensch sich aneignet. Die Möglichkeit, dass wir so frühe Herr gerade über diese Muskeln werden, liegt wiederum in der hohen Dignität der Nerven, die sie empfangen.

Die Empfindlichkeit der Netzhaut scheint von ihrem Mittelpunkte nach aussen hin, sehr schnell abzunehmen, und die angestrengteste Aufmerksamkeit vermag kaum sich der Undeutlichkeit bei indirectem Sehen bewusst zu werden, dennoch aber ist der Uebergang bis zur vollkommenen Unempfindlichkeit

so allmählig, dass wir die Stelle, wo sie beginnt, selbst wenn wir darauf aufzumerken uns bestreben, nicht herausfinden können, und nicht im Stande sind, uns der Gränze des Gesichtsfeldes, des Rahmens, der das gesehene Bild umschliesst, bewusst zu werden.

Es scheint, als ob der gelbe Fleck nicht immer in gleichem Grade der Thätigkeit sich befindet, und sich mit den benachbarten Punkten der Netzhaut auf gleiche Höhe der Perceptivität herabzustimmen fähig sei.

Wer seine Sinne zu belauschen sich geübt hat, wird sich dieser Art des Sehens erinnern. Es ist der Zustand, in welchem das Auge keinen bestimmten Punkt fixirt, um ein möglichst grosses Bild auf einmal, wenn auch auf Kosten der Deutlichkeit zur Perception zu bringen. So betrachten wir z. B. oft die Wolkengebilde des Himmels, und grosse Ebenen, auf denen das Auge nicht leicht einen Ruhepunkt findet; und wie ich glaube, characterisirt sich der Blick des in dieser Art thätigen Auges durch eine eigenthümliche, dem Parallelismus mehr als gewöhnlich sich nähernde Stellung der Augenaxen.

Man hat darüber gestritten, wie gross der dem menschlichen Auge noch wahrnehmbare kleinste Gesichtswinkel sein dürfte und die Grösse des auf der Netzhaut abgebildeten Objects mit der Grösse des kleinsten organischen Theilchens der Retina verglichen.

Gegen die Art, in der diese Untersuchungen angestellt worden, ist in mehrfacher Hinsicht zu erinnern, denn erstens hat man ganz aus den Augen gelassen,

dass nur ein kleiner Theil der Netzhaut eine Empfindlichkeit für sehr kleine Gesichtswinkel habe, der gelbe Fleck nämlich, und nicht auf die Structur dieser Stelle, sondern auf die der übrigen Theile jenes Organs Rücksicht genommen, welche, wie wir wissen, nur zu dem sehr unvollkommenen indirecten Sehen dienen. Ueber die Bildung des gelben Flecks, die so sehr viel zarter ist, als die der übrigen Netzhaut, dass man ihn wegen seiner leichten Zerreissbarkeit lange Zeit hindurch für durchbohrt hielt, ist mir nichts Ausführlicheres bekannt. Ich habe ihn zum öfteren und zwar an möglichst frischen Augen mikroskopisch bei einer Vergrösserung von 300 mal in der Linie untersucht, konnte aber immer nicht zu einem entschiedenen Resultate kommen, und fand überhaupt die Structur der Netzhaut beim menschlichen Auge immer sehr viel weniger leicht erkennbar, als bei den Augen von frisch getödteten Thieren. Diese Unbestimmtheit des Objects glaube ich mit Recht auf die frühe im Auge eintretende Verwesung schieben zu dürfen, da auch bei Thieren, bei denen der Tod schon vor mehr als 24 Stunden erfolgt war, die Bildung der Netzhaut sich nicht mehr mit Deutlichkeit erkennen liess.*)

*) Es ist das Auge entschieden derjenige Theil des Körpers, an dem sich zuerst Spuren der beginnenden Verwesung zeigen; ja bei einigen Krankheiten, namentlich denen, die auf Dissolution der Säfte beruhen, verliert das Auge schon vor dem Tode den turgor vitalis. Wenn sich auch noch keine anderen Spuren der Verwesung einstellen, so zeigt doch schon sehr frühe die Hornhaut ein gefälltes Ansehen, und das Auge sieht aus, als ob es einen grossen Theil seiner Feuchtigkeiten eingebüsst hätte.

Vor kurzem hatte ich Gelegenheit, das Auge eines Menschen untersuchen zu können, der an einer Ruptur der Milz vor wenig Stunden erst verstorben war. Die Resultate dieser Untersuchung waren so entscheidend, dass ich selbst aufs höchste dadurch überrascht wurde.

Die Netzhaut adhärirte so fest am Glaskörper, dass der letzte nur durch vorsichtige Schnitte mit der Scheere, zum grösseren Theile wenigstens, getrennt werden konnte, während sich bekanntlich bald nach dem Tode zwischen Retina und Hyaloidea eine Flüssigkeit sammelt, die die Entfernung des Glaskörpers von der Netzhaut auf's leichteste möglich macht.

Schon dem blossen Auge war es leicht erkennbar, dass die Stelle des gelben Flecks sich nicht unbedeutend über die innere Fläche der Netzhaut kegelartig erhob. Die Grösse der Erhebung konnte ich nicht genau messen, da ich aber etwa einen ganzen Schraubenumgang an der Mikromotenschraube meines Microscops machen musste, um abwechselnd den höchsten Punkt des gelben Flecks und die darunter liegende Fläche der Retina in den Fokus zu bringen, so konnte ich sie nach der nachher angestellten Untersuchung der Schraube etwa auf 0,1‴ schätzen.

Um das Object so wenig als möglich in seiner Integrität zu verletzen, comprimirte ich es nicht, sondern legte nur ein etwa ¼ □ Zoll grosses, überaus dünnes Glastäfelchen auf dasselbe, um die kegelförmige Erhöhung zu ebenen. Das Ansehen, das der

gelbe Fleck nun zeigte, liess sich am ehesten mit dem Chagrin vergleichen, dessen man sich früher so häufig als Ueberzug von Futteralen bediente. Längliche Kügelchen, die nach der Mitte hin immer kleiner wurden und die etwa nur $\frac{1}{4} - \frac{1}{5}$ der Grösse von den Markkügelchen auf der übrigen Fläche der Netzhaut hatten, setzen mit einer grossen Regelmässigkeit angeordnet sie zusammen.*) Sie gehen wie Radien nach der Peripherie des gelben Flecks hin, werden hier grösser, zugleich aber in ihren Umrissen weniger deutlich bestimmt, und an sie reihen sich die Markkügelchen der übrigen Netzhaut in einem allmähligen Uebergange an. Die Uebergangsstelle aber, der Umfang des gelben Flecks, ist nicht kreisrund, vielmehr strahlen die Markkügelchen des letzten, wie sternförmig an einzelnen Stellen, die übrigens auch nicht in regelmässig wiederkehrender Entfernung von einander liegen, weiter aus. Eine genaue Messung konnte ich nicht anstellen. Ich hatte Gelegenheit, diese Beobachtung dem Herrn Gen. Arzt Linden zu zeigen, der sich von der beschriebenen Bildung aufs vollkommenste überzeugt zu haben versicherte.**)

---

*) Eine Abbildung des gelben Flecks habe ich in Müllers Archiv gegeben.

**) Seit jener Zeit ist es mir noch zum öfteren gelungen, diese Structur des gelben Flecks zu sehen, einmal war ich sogar im Stande, sie einer grösseren Anzahl von Zuhörern im medizinischen Klinikum unserer Universität zu zeigen.

Diese Entdeckung scheint mir in so fern von einiger Wichtigkeit, als sie uns den Weg zu einer einfachen mechanischen Erklärung eines so wunderbaren Phänomens zeigt, des Phänomens nämlich, dass nur eine Stelle der Netzhaut, die dem hintersten Ende der Augenaxe entsprechende, deutlich zu sehen vermöge.

Es bedingt diese Einrichtung die eigenthümliche Art, wie die Bilder, die in unser Auge fallen, begränzt werden. Nur ein überaus kleiner Theil kommt zur vollkommenen Perception; er wird concentrisch umlagert von Schichten und Zonen, die immer undeutlicher werden, und so allmählig zu dem nicht mehr Gesehenen übergehen, dass wir der Gränze des Gesichtsfeldes uns gar nicht bewusst werden.

Auf diese Weise treten bei den Bewegungen des bulbus nie plötzlich Objecte ins Auge, wie das bei scharfer Begränzung des Bildes der Fall sein müsste, sondern gelangen zuvor auf Stellen der Netzhaut, auf denen sich das Auge auf ihre genauere Beschauung gleichsam erst vorbereitet.

Die mit der Entfernung von der Augenaxe zunehmende Undeutlichkeit liegt aber wahrscheinlich nicht nur in der unvollkommenen Structur der Retina an den betreffenden Stellen, sondern auch einerseits an der Unvollkommenheit der Bilder, und andererseits an der geringeren Lichtstärke derselben. Was den ersten Punkt betrifft, so wird die Undeutlichkeit der Bilder bei indirectem Sehen dadurch vorzugsweise bedingt, dass die Strahlen, die auf diese

Weise zur Retina gelangen durch die seitlichen Theile der Cornea und durch die mehr nach dem Rande hin gelegenen Stellen der Linse gehen, auf welchem Wege sie, wie es nicht nur wahrscheinlich, sondern auch durch einen Versuch erweislich ist, bedeutenden Ablenkungen wegen der Kugelgestalt unterworfen sind. Es kann auf diese Weise dann nicht mehr eine Vereinigung in einem Punkte stattfinden, sondern nur in vielen hinter und über einander liegenden. Den eben angedeuteten Versuch werde ich bei der Auseinandersetzung des Scheinerschen Versuchs näher zu besprechen Gelegenheit nehmen. Die geringere Licht-Intensität der seitlich von der Augenaxe gelegenen Bilder rührt daher, dass bei zunehmend schräger Richtung des einfallenden Lichtkegels durch ein und dieselbe kreisförmige Oeffnung (die Pupille), da diese sich zu jenem als eine immer schmaler werdende Ellipse verhält, eine immer um vieles kleinere Anzahl von Strahlen hindurch gelangen kann.

Es lässt sich aber, glaube ich, noch ein zweiter, eben so gewichtiger Einwand gegen die Untersuchung über die Relation zwischen dem kleinsten Netzhautbilde und dem kleinsten organischen Theilchen der Netzhaut vorbringen, nach dem, wie es mir scheint, jene Untersuchungen ganz wegfallen. Kein Gegenstand nämlich ist so klein, dass er nicht noch selbst in der grössten Entfernung gesehen werden könnte, wenn er nur Lichtreichthum genug besitzt.

Ein Spinnfaden von $\frac{1}{60}$ Linie Dicke wird von Jedem in der Entfernung von 10 Zollen, also etwa

unter einem Gesichtswinkel von ½ Minute wahrgenommen. Diesem entspricht ein etwa eben so grosser innerer Scheitelwinkel, zwischen dessen Armen das Retinabild ungefähr in der Entfernung von 10 Linien liegt, und da 10‴ in 10″, 12 mal enthalten sind, so ist die Breite der irritirten Netzhautstelle 12 mal kleiner, also $\frac{1}{720}$‴. Nach Hueck wäre nach den vielfältig von ihm angestellten Messungen das kleinste noch wahrnehmbare Netzhautbildchen $\frac{1}{13000}$‴. Ein Schüler v. Bär's sah ein Haar von $\frac{1}{60}$‴ Stärke in einer Entfernung von 28 Fuss, wo also der Querdurchmesser des Bildchens auf der Netzhaut 0,0000014″ war.

Wir wissen aber, dass wir häufig noch viel kleinere Gegenstände bei passender Beleuchtung sehen. Man erkennt oft aufs deutlichste in der Entfernung von 80—100 Schritten zwischen Bäumen ausgespannte Spinnfäden, deren Durchmesser nicht halb so stark ist, wenn sie das Sonnenlicht in einem passenden Winkel reflectiren.

Es entscheidet also überhaupt in Bezug auf die Möglichkeit der Empfindung auf der Netzhaut nicht sowohl die Grösse des irritirten Punktes und die Grösse des Gesichtswinkels, als vielmehr die Stärke des Lichtreizes. So sind die kleineren Planeten dem Auge nicht mehr wahrnehmbar, während wir die Fixsterne auf's deutlichste sehen, der Gesichtswinkel aber, unter dem die letzten uns erscheinen, jedenfalls ein kleinerer ist, da der Gebrauch des besten Fernrohrs ihn nicht, wie bei den Planeten, vergrössert.

Aus dem, was ich über den Drehpunkt des Auges im früheren Abschnitte auseinander gesetzt habe, folgt, dass bei der Betrachtung eines Gegenstandes mit directem Sehen, die Lage desselben im Raume uns auf's bestimmteste gegeben ist, und zwar durch die Richtung des Axenstrahls. Es geht derselbe durch zwei feste Punkte des Auges, den Drehungspunkt und den gelben Fleck, hindurch. Da wir es aus Erfahrung wissen, dass das Auge nur an einer Stelle die Fähigkeit hat, genau zu sehen, so bringen wir es immer in die Richtung, in welcher eben dieser Punkt von den Lichtstrahlen, die der zu betrachtende Körper aussendet, getroffen wird, und setzen alsdann die Lage des letzten in die Richtung vom gelben Flecke durch den Drehpunkt nach aussen.

Durch diese Erklärung, die wir bald noch weiter verfolgen werden, fällt ein scheinbar schwierig zu beseitigender Punkt, der in neuer Zeit namentlich vielfach zur Sprache gebracht worden ist, von selbst fort. Man hat nämlich gemeint, der Axenstrahl des Lichtkegels selbst gebe uns die Richtung, in der irgend ein Gegenstand sich befindet, an, und es nun unerklärlich gefunden, weshalb wir denselben doch am richtigen Orte im Raume erblicken, wenn auch der Axenstrahl auf eine oder die andere Weise abgefangen wird. Da es nur auf Erregung des Mittelpunktes der Retina im gelben Flecke ankommt, um in uns die Wahrnehmung eines Gegenstandes im Raume in der Richtung der Augenaxe hervorzubringen, so ist es natürlich ganz indifferent, in welcher Richtung diese Einwirkung entstanden ist.

Ehe ich hier weiter fortgehe, wird es nöthig sein, den bekannten, vielfach modificirten und besprochenen Scheinerschen Versuch vorzuführen und zu deuten, den ich im weiteren Fortgange der vorliegenden Untersuchungen zum öfteren benutzt habe, um physiologische Probleme des Sehens zu lösen.

Wenn man in ein Kartenblatt oder besser in eine dünne Blechplatte zwei Löcher bohrt, die nicht vollkommen so weit aus einander stehen, als der Durchmesser der Pupille lang ist, und dieselbe vor das eine Auge hält, während man das andere schliesst, so erscheinen die betrachteten Gegenstände, wenn sie bis zu einer bestimmten Entfernung abgerückt werden, einfach; mehr genähert, und (wenn das Auge kurzsichtig ist) weiter entfernt, werden sie doppelt gesehen. Bei Weitsichtigen tritt ein Doppelsehen in weiterer Entfernung des Gegenstandes nicht ein; ist die Weitsichtigkeit sehr bedeutend, so findet auch wohl ein vollkommenes Einfachsehen selbst bei sehr grossem Abstande des Objects nicht statt; ein Fall, der z. B. fast immer bei Staaroperirten vorkommt.

Je kurzsichtiger*) ein Auge ist, desto früher erscheint das Objekt einfach, oft schon in der überaus grossen Nähe von drei bis vier Zollen.

---

*) Ein Kurzsichtiger sieht nicht deutlich, weil durch die Zerstreuungsscheiben, die auf der Retina sich abbilden, die Umrisse der Gegenstände nicht genau begränzt, sondern wie verwaschen erscheinen; trägt er eine passende Brille, so kann der Fehler des Auges vollkommen ausgeglichen werden, so dass das kranke Auge alle Punkte und Linien mit genaueren Grenzen wahrnimmt. Das Auge zweier Menschen,

Ich werde die Entfernung des Objects vom Auge, in der man dasselbe einfach sieht, die Fokal-Distanz des Auges nennen. Dieselbe wird ersichtlich unter verschiedenen Umständen verschieden gross sein; bei dem Abschnitte über das Adaptionsvermögen werde ich die Begriffs-Bestimmung und nähere Deutung dieses Ausdrucks zu geben Gelegenheit haben.

Die Figuren III, IV und V erklären den Versuch. Die von den Lichten a, a′, a″ ausgehenden Strahlen-Kegel werden von der mit den Oeffnungen versehenen Wand abgefangen, bis auf das Lichtbündel b, c, d c; b′, c′, d′ c′; b″, c″, d″ c″. Steht nun das Licht so, dass die Spitze des Kegels, den seine Strahlen bilden, gerade in die Retina-Fläche fällt, was bei verschiedener Brechungsfähigkeit der Medien in verschiedenen Augen aus leicht ersichtlichen physikalischen Gründen einen andern Abstand des Lichts vom Auge erfordert, so werden auch die beiden Kegel bc, dc, sich in der Retina in einem Punkte vereinigen, und hier ein einfaches Bild zur Perception bringen. (Fig. III.)

Wird das Licht näher nach a′ gerückt (Fig. IV.), so wird natürlich in demselben Auge bei nicht veränderter Brechungsfähigkeit der Medien die Spitze

---

die beide gleich deutlich sehen, kann aber noch so fern verschieden sein, als dem einen ein und derselbe kleine Gegenstand bei allmähliger Entfernung früher unsichtbar wird, als dem Andern, woraus hervorgeht, dass dem einen noch Gegenstände unter kleineren Gesichtswinkeln sichtbar sind; — von den beiden bezeichneten Augen heisst dieses das schärfere.

des Kegels und also auch die Vereinigung der beiden noch ins Auge hineingelassenen Strahlenbündel hinter die retina in c′ fallen, die retina selbst aber in f und g irritirt werden. Dadurch wird es bedingt, dass der Gegenstand doppelt erscheint.

Entfernt man dagegen das Licht wieder von a nach a″, so muss bei dem grösseren Parallelismus der von a″ nach den beiden Oeffnungen gehenden Strahlen das Auge die Concentration derselben schon vor der Netzhaut in c″ bewerkstelligen; auf der Fläche der Retina langen sie schon wiederum divergirend an, und zwar wird der Punkt f′ von dem durch b″ gehenden, der Punkt g′ von dem durch d″ gehenden Lichtbündel erregt werden. Auch in diesem Falle muss der durch die Löcher gesehene Gegenstand doppelt erscheinen, weil die von ihm ausgehenden Lichtstrahlen an zwei isolirten Punkten die Netzhaut treffen, und jeder gereizte Punkt eine Lichtempfindung hervorbringt.

Der Versuch zeigt nun aufs Deutlichste, dass, wenn irgend eine Stelle der Retina erregt wird, wir eine Lichterscheinung an einem bestimmten Punkte des Raums wahrnehmen, dessen Lage durchaus nicht von der Richtung der Lichtstrahlen abhängt, durch welche der Reiz hervorgebracht ist. Steht nämlich das Licht zu nahe, (Fig. IV) so sehen wir die Flamme desselben doppelt in φ und γ, und zwar hängt das Bild in φ von der in f irritirten Netzhautstelle, das Bild in γ von g ab; denn wenn wir das Loch b′ durch ein vorgeschobenes Blatt

schliessen, so schwindet das Bild φ, verdecken wir d′, so wird γ unsichtbar. Da nun aber nach der früheren Erklärung die durch b′ gehenden Lichtstrahlen den Lichtreiz in f, die durch d′ gehenden den in g erregen, so folgt daraus, dass das Bild φ von f, das Bild γ von g abhing.

Bedecken wir bei zu weiter Entfernung des Lichtes vom Auge (Fig. V.) die Oeffnung b″, so verschwindet das Scheinbild φ', während das in γ' unsichtbar wird, wenn man d″ zuschliesst. Da nun aber hier wiederum das Netzhautbild g′ von den durch d″ hindurchgehenden Strahlen abhängt, das in f′ von denen, die durch b″ kommen, so sehen wir das Bild φ' auf der Netzhaut in f′, γ' in g′ gebildet.

Wenn also eine Netzhautstelle oberhalb der Augenaxe durch Lichtstrahlen getroffen wird, gleichviel welche Richtung vor dem Eintritt oder nach dem Eintritt ins Auge dieselben hatten, so erscheint dadurch im Raume ein Bild unterhalb der verlängerten Augenaxe, und umgekehrt, und da eben diese an Fig. III, IV und V gemachten Deductionen ganz in derselben Art gültig sind, ob die gezeichneten Augendurchschnitte als vertikale, horizontale oder schräge angesehen werden, so gilt im Allgemeinen die Behauptung, dass wenn irgend ein Punkt seitlich vom gelben Flecke auf der Netzhaut erregt wird, wir im Raume auf der entgegengesetzten Seite ein Bild zu sehen glauben, während die Richtung, in welcher die Strahlen nach der gereizten Netzhautstelle ge-

langen, durchaus indifferent für die Lage des gesehenen Gegenstandes ist.

Das Problem des Aufrechtsehens der Gegenstände, bei verkehrtem Stande des Netzhautbildchens ist durch diese Erklärung freilich nicht gelöst, wenigstens aber in sofern vereinfacht, als es aufs klärste hervorgeht, dass es eine in der Bildung der Netzhaut selbst begründete Eigenthümlichkeit sei, die erregten Stellen auf der entgegengesetzten Seite von der Augenaxe zu empfinden, d. h. das Bild umzukehren.

Treviranus*), auf dessen Ansicht über diesen Versuch wir noch ausführlicher bei der Lehre vom Adoptionsvermögen des Auges zurück kommen werden, meint, dass wenn man (Fig. VI.) von a nach b und d Linien sich gezogen denkt, auf diesen zwei gleiche Stücke ak und ah abschneidet und nun, nachdem man in k und h zwei vertikale Fäden ausgespannt, und das durchlöcherte Blatt vom Auge entfernt hat, durch das nähere Heranführen dieser Fäden nach dem Auge hin, und das weitere Abrükken von demselben, die oben besprochenen Erscheinungen ganz in derselben Art auftreten werden, nur mit dem Unterschiede:

1) dass statt der vorigen sehr schmalen Strahlenbüschel zwei, die ganze Oeffnung der Pupille einnehmende Strahlenkegel von den Objekten in das Auge fallen.

---

*) Beiträge zur Aufklärung der Erscheinungen und Gesetze des organischen Lebens I. Band 3. Heft.

2) die Bilder der Objecte auf der Netzhaut nicht mehr von dem Blatte, das vorher vor dem Auge angebracht war, beschattet sind;
3) diese sich auch für das kurzsichtige Auge bei weiterer Entfernung des Gegenstandes nicht wieder trennen, wenn sie sich einmal vereinigt haben.

Die Gleichstellung des Scheinerschen Versuchs mit dem obengenannten scheint mir nicht statthaft. Treviranus fühlt das an der angegebenen Stelle selbst, indem er über den dritten hauptsächlich unterscheidenden Punkt sich nicht näher auslässt. Die beiden Objekte k h, sagt er, müssen zwar bei einem kurzsichtigen, aber sonst regelmässig gebauten Auge beim weiteren Fortrücken des Gegenstandes wieder etwas von einander weichen, sie sind dann aber so gross und bleiben so nahe beisammen, dass sie schwerlich sich wieder ganz von einander trennen können, wenn nicht die Hornhaut oder die eine der beiden Flächen des Krystall-Körpers seitwärts irregulaire Krümmungen hat, die bei einem gewissen Grade von Erweiterung der Pupille und beim Auffallen paralleler Strahlen diese in mehren Brennpunkten vereinigen.

Keinesweges aber ist das Auseinanderweichen der beiden Objecte im Scheinerschen Versuche, bei Kurzsichtigen namentlich, so unmerklich, sondern im Gegentheile sehr bedeutend und der Abstand derselben, wie wir unten sehen werden, sogar messbar. So sah Volkmann 3 bis 4 Zoll dicke Aeste eines 25 Fuss von ihm entfernt stehenden Baumes, soweit von ein-

ander getrennt, dass sie durch einen hellen Zwischenraum vollständig geschieden waren. Durch zwei Oeffnungen, die zwei und eine halbe Linie von einander abstehen, sehe ich das Doppelbild eines drei Linien breiten Körpers, wenn ich denselben 250 Linien vom Auge entfernt halte, schon so weit getrennt, dass die Ränder einander berühren.

Sodann aber tritt das Einfachsehen des Bildes schon in einer sehr grossen Nähe beim Scheinerschen Versuche ein, und zwar in der Entfernung der Fokal-Distanz des Auges, 5—24 Zolle, je nach dem Refractionszustande der verschiedenen Augen. Die beiden nach Treviranus Angabe nebeneinandergestellten Fäden aber werden erst dann zusammen zu fliessen scheinen, wenn sie weit über die Entfernung des deutlichen Sehens hinausgeführt sind, während sie bei dem oben bezeichneten Abstande gerade am schärfsten als zwei gesonderte Objecte erkannt werden können.

Der Scheinersche Versuch ist vielfach gemodelt worden. Eine einfache Umwandelung desselben ist die im Versuche von Young. Wenn man über ein dunkel gefärbtes Lineal (Fig. VII.) längs seiner Mitte von einem Ende zum andern einen hellen Faden (ab) ausspannt, und nach demselben durch zwei Löcher x z, welche wie beim Scheinerschen Versuche in einem Kartenblatt angebracht sind, hinvisirt, so sieht man statt des einfachen Fadens ab zwei in h sich kreuzende cd, und fg. Die Erklärung dieser Erscheinung ist durch den Scheinerschen Versuch gegeben, wenn man sich die Linie ab aus unendlich vielen

neben einander liegenden Punkten zusammengesetzt denkt. Für den Punkt h, welcher in der Fokal-Distanz des Auges liegt, gilt die Erscheinung, die wir in Bezug auf das frühere Experiment in Fig. III dargestellt haben, er erscheint einfach. Alle Punkte zwischen h und a liegen diesseits der deutlichen Sehweite; für sie gelten die Erscheinungen, welche in Fig. IV erläutert sind, sie werden doppelt gesehen, und zwar scheinen sie um so weiter von einander zu liegen, je mehr sie sich dem Auge nähern.

Auf diese Weise ist die Zerlegung der Linie ah in zwei nach h hin convergirende ah und fh erklärt; die Zerlegung der Linie hd in zwei von h aus divergirende, hd und hg, ist dadurch bedingt, dass alle ihre Punkte jenseits der Grenze des deutlichen Sehens liegen, und jeder zwei Stellen der Netzhaut erregt, die, wenn man sie sich alle neben einander gelagert denkt, das Bild zweier von dem Punkte des deutlichen Sehens aus einander tretende Linien erzeugen müssen.

Aus dem oben schon Auseinandergesetzten geht hervor, dass die diesseits der Stelle des deutlichen Sehens nach der einen Seite, z. B. links gesehenen Linie von dem Netzhautbilde auf der entgegengesetzten, der rechten Seite also, und von dem Loche, das rechts liegt, hervor gebracht; ihre Verlängerung aber, das jenseits der deutlichen Sehweite rechts gelegene Stück von dem durch dieselbe Oeffnung gehenden Strahlenkegel erzeugt wird, so dass diese ganze Linie beim Verschliessen des rechts liegenden die

andern sie kreuzende beim Verschliessen des links liegenden Loches verschwinden muss.

Der ursprüngliche Versuch, aus dem der eben aufgeführte entstanden, ist der von Porterfield. Nach ihm wird ein über ein schwarzes Lineal gespannter und von seinem einen Ende her betrachteter Faden nur an der Stelle deutlich und scharf begränzt gesehen, welche in der Gegend der deutlichen Sehweite des Auges liegt, während die entfernten und näher liegenden Punkte undeutlich und verwaschen erscheinen; und zwar um so mehr, je entfernter sie von der bezeichneten Stelle abstehen. Die Erklärung hievon ist in der des früheren Versuches involvirt. Treviranus hingegen glaubt eine ganz andere und zwar folgende gefunden zu haben.

Gesetzt MNO (Fig. VIII.) wäre die Axe eines nach dem Faden PQ hingerichteten Auges, so muss nach seiner Ansicht der Punkt A deshalb am schärfsten begränzt wahrgenommen werden, weil sein Bild sich gerade auf der Stelle der Netzhaut darstellt, die allein die Fähigkeit besitzt, scharf begränzte Bilder zur Perception zu bringen, auf der Stelle des gelben Flecks. Die Bilder der Punkte B und C werden in b und c, also weit von den der Augenaxe entsprechenden Stellen der Netzhaut entfernt, an Theilen der letztern, die eine viel geringere Perceptions-Fähigkeit besitzen, dargestellt und erscheinen aus diesem Grunde nicht scharf begränzt, breit, verwaschen.

Die Unrichtigkeit dieser Erklärungsweise lässt sich aus folgender Darstellung entnehmen: wäre

Treviranus Ansicht die richtige, so müsste das Phänomen der Undeutlichkeit der von dem fixirten Punkt des Fadens entfernter liegenden Stellen um so mehr schwinden, je mehr die Richtung der Linie PC der Augenaxe sich nähert; oder je kleiner der Winkel MAP wird, weil ja dann die Bilder b und c immer näher an M heranrücken. Die Beobachtung zeigt aber gerade das Entgegengesetzte. Die oben aufgeführte Modification des Versuchs nach Young und die über ihn gegebene Erklärung reicht übrigens allein schon hin, den Irrthum in Treviranus Erklärungsweise darzuthun.

Hat man in das Kartenblatt statt zweier, mehre Löcher eingestochen, die alle in derselben Linie liegen, so erscheint ein durch dieselben gesehener Gegenstand, der nicht in der deutlichen Sehweite liegt, ebenso vielfach neben einander gestellt, als Löcher in dem Kartenblatte sich befinden, im Falle nämlich der Abstand der beiden äussersten nicht die Weite der Pupille übertrifft. Die Erklärung hievon ergiebt sich von selbst.

Modificirt man den Youngschen Versuch in der Art, dass man einen parallel mit der Augenaxe ausgespannten Faden durch vier in der eben beschriebenen Art in dem Kartenblatte angebrachte Oeffnungen betrachtet, so sieht man vier sich an einer Stelle kreuzende Linien. Sind die vier Oeffnungen möglichst weit auseinandergestellt, so kann man bei aufmerksamer Beobachtung leicht bemerken, dass die Kreuzungsstelle nicht genau auf einen Punkt fällt, sondern

BOSTON MEDICAL
NOV 16 1917

dass die beiden nach aussen hin liegenden Linien (die beiden Bilder, die durch die äussere Oeffnung erzeugt werden) sich etwas näher nach dem Auge hin zu schneiden scheinen, als die beiden innern. — Das Resultat dieses Versuchs tritt um so deutlicher hervor, je weiter die Pupille dilatirt und je weiter der Abstand der vier Oeffnungen von einander ist; am entschiedensten, wenn die Pupille vorher mit Belladonna-Extract künstlich erweitert worden.

Was die Erklärung desselben betrifft, so ist sie überaus einfach. Die Entfernung zweier Lichtbilder, die auf der Netzhaut von irgend einem Körper bei dem Scheinerschen Versuche hervorgebracht werden, hängt ab von der grössern oder geringern Brechungsfähigkeit der Medien des Auges. Je grösser dieselbe ist, desto weiter nach vorne im Auge liegt die Stelle der Vereinigung aller Lichtstrahlen, und desto grösser ist ihre Divergenz auf der Netzhaut. Eben so muss bei einem grösseren Refractions-Zustande des Auges ein Gegenstand um so näher gerückt werden, wenn die Vereinigung seiner Lichtstrahlen auf die Netzhaut selbst fallen soll. Da der Schnittpunkt der Linie im Youngschen Versuche diesem Abstande entspricht, und für die zwei äussern Linien näher dem Auge liegt, als für die beiden innern, so wird auch die Brechungsfähigkeit des Auges an der Stelle grösser sein, durch welche diejenigen Lichtstrahlen hindurchgehen, die von den nach aussen liegenden Löchern kommen; d. h. die Strahlen, die am Rande der Pupille hindurchgehen, namentlich bei star-

ker Dilatation der letzten, wie sie beim besprochenen Versuche wegen der nothwendigen Beschattung des Auges jedesmal statt hat, werden stärker gebrochen, als die mehr nach der Axe des Auges hin gelegenen.

Diese stärkere Brechung kann, da die übrigen Medien keinen ersichtlichen Einfluss darauf haben dürften, nur von der Linse abhängen, deren geringere Vollkommenheit in der Brechung nach dem Rande hin ja auch schon von Purkinje durch die hier mangelnden Achromasie nachgewiesen ist.

Eine andere Modification des Scheinerschen Versuchs wird von Mile angeführt, um dadurch den Beweis zu liefern, dass die Richtung des Sehens nicht von dem Axenstrahl abhängt, indem wir (bei directem Sehen), auch wenn derselbe fehlt, doch den Gegenstand in richtiger Lage, d. h. in der Verlängerung der Augenaxe erblicken. Wenn man nämlich nach Mile eine Röhre (Fig. IX) von etwa 11″ Länge, die an ihren beiden Enden nur eine kleine Oeffnung hat, vor das Auge hält und sowohl das Auge selbst als auch das entferntere Ende der Röhre fixirt, das nach dem Beobachter hin gelegene aber in verschiedener Richtung, jedoch nicht weiter, als der Durchmesser der Pupille beträgt, hin- und her-bewegt, so erscheint der feststehende Punkt h wirklich immer an derselben Stelle, gleichviel an welchem Theile der Pupille sich die Oeffnung z der Röhre befindet.

Dieser Versuch ist in dem Scheinerschen in folgender Art involvirt. Der Punkt h liegt in der deut-

lichen Sehweite, die Oeffnung z ist, wenn sie aus der Augenaxe herausgerückt, eins der beiden Löcher im Kartenblatte. Wäre die Röhre kürzer als 10″, d. h. stände das Loch h nicht in der Entfernung der deutlichen Sehweite, so würde es sich gleichfalls zu verrücken scheinen, sobald man das dem Auge zugekehrte Ende der Röhre nach z hinführt.

Eben so ist ein zweiter von Mile aufgeführter Versuch im Scheinerschen enthalten. Fixirt man zwei hintereinander gestellte Stifte, und schiebt, wenn sie sich decken, eine mit einem Loche versehene Karte vor das Auge, die man nach links und rechts um die Weite der Pupillen-Oeffnung verrückt, so erscheint, nur wenn die Oeffnung der Mitte der Pupille entspricht, einer der Stifte durch den andern gedeckt, bei mehr seitlicher Stellung des Kartenloches werden beide getrennt gesehen. — Steht einer von den beiden Stiften in der Entfernung des deutlichen Sehens, so wird er, welche Stellung gegen die Pupille das Loch in der Karte auch einnehmen mag, doch stets an demselben Orte gesehen, während ein entfernter liegender nach derselben Richtung sich verrückt, in der man die vorgehaltene Oeffnung bewegt, ein näherer aber in der entgegengesetzten. Das Stillestehen des in der Entfernung des deutlichen Sehens liegenden Stiftes bedarf keiner Erklärung. Es wird immer derselbe Punkt der Netzhaut afficirt, welcher Theil des gesammten, durch die Pupillen-Oeffnung bei unverdecktem Auge eindringenden Lichtkegels durch die vorgehaltene Oeffnung hindurch gelangt.

Ist das Objekt diesseits der deutlichen Sehweite gelegen, so befindet sich die Spitze des Strahlenkegels erst hinter der Netzhaut. Rückt man also die Oeffnung in dem Kartenblatte von der Mitte nach aussen fort, so muss bei diesem Fortrücken immer ein anderer Punkt der Netzhaut erregt werden, immer ein anderer Theil des auf der Netzhaut sich darstellenden Zerstreuungskreises zur Wahrnehmung kommen, die erregte Stelle in derselben Richtung nach aussen sich fortbewegen, die Lichtempfindung also in der entgegengesetzten statt finden. Befindet sich das Objekt aber jenseits der deutlichen Sehweite, so liegt die Spitze des Strahlenkegels vor der Netzhaut, die Strahlen gelangen auf dieselbe bereits wieder divergirend und bilden hier eine Zerstreuungsscheibe. Die vorgehaltene Oeffnung fängt dieselbe bis auf einen kleinen Theil ab, der einen Lichtreiz auf der Netzhaut erzeugt. Bei seitlicher Verrückung der Oeffnung wird dieser Lichtreiz auf der Retina fortschreiten, so dass also eine Bewegung des Objekts in derselben Richtung, in der die Oeffnung bewegt wird, zur Wahrnehmung kommt.

Die eben aufgeführten Versuche geben über die Richtung, in der wir seitlich vom gelben Flecke sich darstellende Gegenstände sehen, nur in so fern Aufschluss, als sie zeigen, dass jene Richtung durch die Direktion der einfallenden Lichtstrahlen durchaus nicht bestimmt werde, sondern dass die Erregung einer bestimmten Stelle der Netzhaut, gleichviel in welcher Richtung der Eintritt der erre-

genden Strahlen geschehen, immer ein Bild an einer bestimmten Stelle des Raums erzeugt oder dass von der Entfernung des Netzhautbildes von dem der Augenaxe entsprechenden Punkte der Retina die Grösse des Winkels abhängt, unter welchem wir ein durch indirektes Sehen percipirtes Bild von dem in der Richtung der Augenaxe gelegenen entfernt sehen.

Es käme nur darauf an, zu bestimmen, unter welchem Winkel wir einen Gegenstand seitlich von der Augenaxe sehen müssen, wenn ein gegebener Punkt der Netzhaut seitlich vom gelben Flecke eine Lichtempfindung erhält.

Eine Richtung wird durch zwei Punkte gegeben; beim direkten Sehen sind diese beiden Punkte, wie wir oben gezeigt haben, der gelbe Fleck (die Stelle des Netzhautbildes) und der Drehungspunkt des Auges; beim indirekten Sehen haben wir bis jetzt nur einen Punkt, den des Netzhautbildes, kennen gelernt und gesehen, dass der zweite gar nicht in dem Strahlenkegel liegen darf, durch den das Netzhautbild erzeugt wird.

Da die Richtungslinien des Sehens beim direkten Sehen durch den Drehpunkt der Augen gehen, so ist es am wahrscheinlichsten, dass auch bei indirektem Sehen der Drehpunkt die Richtung bestimme, in der wir das Bild im Raume wahrnehmen. Wäre das nicht der Fall, so müsste, wie Volkmann schon darauf aufmerksam gemacht, abwechselnd der Gesichts-Winkel grösser und kleiner werden, je nachdem wir zwei Gegenstände zugleich mit direktem und indirektem

Sehen fixirten, oder nach einander mit direktem betrachteten. Er folgert in dieser Art: gesetzt, wir fixirten den Gegenstand a (Fig. X) mit direktem Sehen und von einem Gegenstande c würde in g ein Bild auf der Netzhaut erzeugt, so müsste c den Punkt d bei indirektem Sehen decken, wenn die Richtungslinie, in der ein in g erzeugtes Bild gesehen wird, eben so wie es bei direktem Sehen geschieht, durch den Drehpunkt des Auges ginge. Wäre das nicht der Fall, und ginge z. B. diese Richtungslinie durch den Mittelpunkt der Cornea, so würde das Netzhautbild von g in der Richtung gc′ gesehen werden, c also d nicht decken, wie das bei direktem Sehen, wenn wir bei unverwändtem Kopfe die Axe des Auges von a auf c richteten, geschieht. Dadurch müsste aber ein fortdauerndes Durcheinanderwirren der seitlichen Bilder bei jeder Bewegung des Auges erzeugt werden.

Volkmanns Ansicht ist ziemlich allgemein als richtig anerkannt worden. Da meine Untersuchungen mich aber zu einem entschieden andern Resultate geführt haben, halte ich es für meine Pflicht, die Versuche ausführlich vorzuführen, auf welche Volkmann sich stützt, und wenn möglich die Unhaltbarkeit derselben darzuthun.

Sein erster Versuch ist folgender: auf einer Tafel ziehe man mehre Linien, die in einem Punkte sich schneiden. An dem einen Ende derselben bringe man Diopter, an dem andern Lichtflammen an. Setzt man nun das gesäuberte Auge eines weissen Kanin-

chens so auf den Schnittpunkt der erwähnten Linien, dass die Axe einer derselben entspricht, so wird man durch versuchsweises Vor- und Zurückführen dem Auge eine solche Stellung geben können, dass alle Lichtflammen hinten auf der durchsichtigen Sclerotica gerade in der Stelle liegen, wo die Linien jene schneiden, und wenn man durch eines der Diopter sieht, das Haar desselben das Bild auf der Sclerotica und das wirkliche Licht in der Mitte theilt. Es würde hieraus folgen, dass sich alle Richtungslinien in der Höhle des Auges an einem Punkte schneiden.

Eine einfache Modification dieses Experiments ist der zweite Versuch von Volkmann, nach welchem er auf einem Diopter-Lineal, in dessen Mittellinien eine bewegliche, gradicirte Scheibe angebracht ist, das Kaninchen-Auge so fixirt, dass der Punkt, in dem die im ersten Versuche gezogenen Linien sich schnitten, dem Drehpunkt der Scheibe entspricht.

Stellt er nun auf die Seite, welche der Hornhaut zugekehrt ist, in der Mittellinie ein Licht auf und dreht die Scheibe nach verschiedenen Richtungen, so bleibt das Flammenbildchen auf der Sclerotica immer an derselben Stelle stehen, in der Richtung nämlich, die dem Haarvisir und dem Diopter entspricht. Es war bei dem Versuche völlig gleichgiltig, welche Seite des Auges nach oben lag, woraus also folgen würde, dass alle gerade Linien, die man von dem Netzhautbildchen nach den Objekten gezogen denken kann, gleichviel in welcher Richtung von der Au-

genaxe sie liegen, sich in einem Punkte der Augenhöhle schneiden.*)

Wenn die eben angegebenen Versuche von Volkmann richtig wären, so folgte daraus auch die unbedingte Richtigkeit des fünften, nach welchem nämlich die Bilder auf der Netzhaut nicht der durch Diopter und Haarvisir gegebenen Richtung entsprachen, wenn das Auge noch nicht so gestellt war, dass der Schnittpunkt der Richtungslinien den Punkt deckte, um den die Scheibe sich dreht.

Ich habe mit grösster Aufmerksamkeit diese Versuche nachzumachen gesucht, gestehe aber, in Bezug auf den Erfolg derselben nicht so glücklich gewesen zu sein. Um so genau als möglich zu experimentiren, legte ich das Kaninchen-Auge auf den Objekttisch eines Mikroskops, den ich über die sich kreuzenden Linien hinstellte. Durch zwei Mikrometerschrauben, die ähnlich wie bei den Plösslschen Objekttischen angebracht sind, konnte die Stellung des Auges um möglichst kleine Distanzen verändert werden, aber dennoch ist es mir nie gelungen, diejenige heraus zu finden, welche der von Volkmann beschriebenen entsprach. Ueberhaupt scheinen diese Versuche mit weissen Kaninchenaugen wenig wissenschaftlichen Werth zu haben. Das durch die Scle-

*) Volkmann nennt die Linien, in deren Richtung das Objekt im Raume gesehen wird, Richtungsstrahlen, da sie aber mit dem Gange der Strahlen, wie oben bereits auseinandergesetzt, nichts gemein haben, werde ich sie mit dem Namen Richtungslinien bezeichnen.

rotica hindurch sichtbare Bild ist sehr undeutlich, und nur sehr scharfe Contraste von Licht und Schatten lassen sich in ihm wiedererkennen; von einer Lichtflamme erkennt man selbst mit einer passenden Lupe, nur wenn sie in geringer Entfernung absteht, eine Spur des dunklen Dochtes. Immer habe ich das Thier erst in dem Augenblicke getödtet, da ich das Auge benutzen wollte, wenige Stunden nachher fand ich die Cornea stets schon collabirt und so das Auge zu jedem Versuche vollkommen unbrauchbar. Wenn man eine längere Zeit hindurch experimentirt, so muss man in kurzen Zwischenräumen das Auge eine Zeit lang in kaltes Wasser legen, weil sonst zu schnell Cornea und Sclerotica undurchsichtig werden.

Trotz aller dieser erwähnten Vorsichtsmassregeln, von denen Volkmann gar nicht spricht, und die zu einem einigermassen überzeugenden Resultate unerlässlich schienen, ist es mir, wie gesagt, nie gelungen, das Auge so zu stellen, dass wenn ich die Scheibe drehte, das Bild des Lichtes in der Richtung von Haarvisir und Diopter verblieb; im Gegentheil fand es sich constant, dass wenn das Auge die von Volkmann geforderte Stellung ungefähr hatte, das Bild allerdings in der Richtung der Augenaxe genau im Diopter stand, immer aber nach einer Seite hin auswich, so bald die Scheibe gedreht wurde; und ich glaubte bemerken zu können, dass namentlich bei grösserem Abstande der Lichtflamme bei indirektem Sehen die Bilder näher nach der Augenaxe hin fielen, als es möglich wäre, wenn ihre Richtungslinien durch

Nadel auf, verdeckt sie durch eine in k aufgesteckte Nadel, indem man dauernd noch den Punkt i fixirt, so soll sich wiederum durch die nachher anzustellende Messung ergeben, dass der Winkel p b c gleich Winkel p q r, woraus dann wiederum folgt, dass b q c ein gleichschenkliches Dreieck sei, dessen Spitze gleichfalls in c liegt. Demnach wäre c der Punkt, in welchem sich die durch h nach f durch i, nach b, durch k nach g und durch r nach q gehenden Richtungslinien schneiden.

Dieser Versuch erfordert so geringe Vorbereitungen, dass ich jeden meiner geehrten Leser auffordere, ihn gefälligst anstellen zu wollen; er wird sich wenigstens der Mühe überheben, sich erst durch das Lesen der nachfolgenden Auseinandersetzungen davon zu überzeugen, dass Volkmann ihn wohl niemals gemacht habe. Es wird ihm zuerst schon nicht geringe Schwierigkeit verursachen, die Nadel in i beim Fixiren des Punktes b so aufzustecken, dass der letzte gedeckt wird; er wird das Brettchen so halten müssen, dass seine Fläche gerade der Mitte der Pupille entspricht, sonst wird er nie mit Gewissheit darüber zu urtheilen im Stande sein, ob die Einstichspunkte, auf die es bei der nachher anzustellenden Messung gerade ankommt, die richtige Lage gegen einander haben. Gesetzt aber, das wäre ihm gelungen, so möge er den Versuch machen, durch die Nadel in h f zu decken.

Er hüte sich aber hiebei wohl, das Auge zu wenden und etwa f zu fixiren, wozu er sich unwill-

kürlich immer bewogen fühlen wird. Geschähe das, so würde er durch diesen Versuch nicht den Kreuzzungspunkt der Richtungslinien, sondern nur den Drehpunkt bestimmen. Ich behaupte aber, es sei geradehin unmöglich, während das Auge nach b hin festgestellt ist, bei indirektem Sehen durch h und k; f und g zu decken, unwillkürlich wird das Auge immer nach f und g hin sich richten, während man den Versuch macht. Zugegeben aber, es wäre auch das gelungen, so werde ich sogleich darthun, dass der Versuch eine Genauigkeit erfordert, die auf diese Weise nie erreicht werden kann.

Ich werde für die Länge der abzusteckenden Linien diejenigen Verhältnisse wählen, welche für die Volkmannschen Annahmen die günstigsten wären. Da bekanntlich das indirekte Sehen um so unvollständiger wird, je mehr die Gegenstände von der Augenaxe abliegen, so wollen wir, um den Winkel bei f und g nicht zu klein ausfallen zu lassen, $ab = 6''$, bf und $bg = 10'''$ machen. Es wird dann der Winkel bei f und g etwas über 82° betragen.

Wäre der Winkel 82° 12′, so wäre die Länge von $bc = 72{,}99'''$;
wäre er aber 82° 18′, so wäre bc schon $= 73{,}97''$„
d. h. wenn der Winkel nur um $\frac{1}{10}$ des Grades grösser wird, so wird bc um eine ganze Pariser Linie schon länger. Schwerlich wird aber wohl Herr Professor Volkmann behaupten wollen, diese durch Stecknadeln bei indirektem Sehen abgesteckten Winkel auf den zehnten Theil des Grades genau gefunden

Nadel auf, verdeckt sie durch eine in k aufgesteckte Nadel, indem man dauernd noch den Punkt i fixirt, so soll sich wiederum durch die nachher anzustellende Messung ergeben, dass der Winkel p b c gleich Winkel p q r, woraus dann wiederum folgt, dass b q c ein gleichschenkliches Dreieck sei, dessen Spitze gleichfalls in c liegt. Demnach wäre c der Punkt, in welchem sich die durch h nach f durch i, nach b, durch k nach g und durch r nach q gehenden Richtungslinien schneiden.

Dieser Versuch erfordert so geringe Vorbereitungen, dass ich jeden meiner geehrten Leser auffordere, ihn gefälligst anstellen zu wollen; er wird sich wenigstens der Mühe überheben, sich erst durch das Lesen der nachfolgenden Auseinandersetzungen davon zu überzeugen, dass Volkmann ihn wohl niemals gemacht habe. Es wird ihm zuerst schon nicht geringe Schwierigkeit verursachen, die Nadel in i beim Fixiren des Punktes b so aufzustecken, dass der letzte gedeckt wird; er wird das Brettchen so halten müssen, dass seine Fläche gerade der Mitte der Pupille entspricht, sonst wird er nie mit Gewissheit darüber zu urtheilen im Stande sein, ob die Einstichspunkte, auf die es bei der nachher anzustellenden Messung gerade ankommt, die richtige Lage gegen einander haben. Gesetzt aber, das wäre ihm gelungen, so möge er den Versuch machen, durch die Nadel in h f zu decken.

Er hüte sich aber hiebei wohl, das Auge zu wenden und etwa f zu fixiren, wozu er sich unwill-

kürlich immer bewogen fühlen wird. Geschähe das, so würde er durch diesen Versuch nicht den Kreuzzungspunkt der Richtungslinien, sondern nur den Drehpunkt bestimmen. Ich behaupte aber, es sei geradehin unmöglich, während das Auge nach b hin festgestellt ist, bei indirektem Sehen durch h und k; f und g zu decken, unwillkürlich wird das Auge immer nach f und g hin sich richten, während man den Versuch macht. Zugegeben aber, es wäre auch das gelungen, so werde ich sogleich darthun, dass der Versuch eine Genauigkeit erfordert, die auf diese Weise nie erreicht werden kann.

Ich werde für die Länge der abzusteckenden Linien diejenigen Verhältnisse wählen, welche für die Volkmannschen Annahmen die günstigsten wären. Da bekanntlich das indirekte Sehen um so unvollständiger wird, je mehr die Gegenstände von der Augenaxe abliegen, so wollen wir, um den Winkel bei f und g nicht zu klein ausfallen zu lassen, ab = 6″, bf und bg = 10‴ machen. Es wird dann der Winkel bei f und g etwas über 82° betragen.

Wäre der Winkel 82° 12′, so wäre die Länge von bc = 72,99‴;
wäre er aber 82° 18′, so wäre bc schon = 73,97‴,
d. h. wenn der Winkel nur um $\frac{1}{10}$ des Grades grösser wird, so wird bc um eine ganze Pariser Linie schon länger. Schwerlich wird aber wohl Herr Professor Volkmann behaupten wollen, diese durch Stecknadeln bei indirektem Sehen abgesteckten Winkel auf den zehnten Theil des Grades genau gefunden

zu haben; man wird mir wohl einräumen, dass unter keinen Umständen eine Genauigkeit von einem halben Grade erreicht werden kann, (eine Genauigkeit, die eben nur die Kreistheilung eines gut gearbeiteten Transporteurs giebt), und bei dieser Ungenauigkeit finden schon Schwankungen der Länge von b c statt, die die Möglichkeit des ganzen Versuchs über den Haufen stossen.

Denn bei 82° 12′ ist b c = 72,99‴
bei 82° 42′ aber schon 78,062‴

wobei slso b c in seiner Länge um mehr als einen halben Zoll variirt.

Nach diesen Auseinandersetzungen glaube ich wohl nicht weiter auf den angeführten Versuch Rücksicht nehmen zu dürfen, und dargethan zu haben, dass er zum Beweise des Satzes: der Drehpunkt des Auges sei auch derjenige, in welchem die Richtungslinien sich schneiden, nicht ausreiche.

Es ist hier die Stelle, für die ich mir die Widerlegung eines Beweises aufheben musste, welchen Volkmann a. a. O. pag. 33 für den Satz aufstellt: „Das Auge drehe sich bei allen seinen Bewegungen „um einen Punkt, welcher gleichzeitig der Kreuzungs„punkt der Richtungsstrahlen und Sehstrahlen ist.“

Wie bei dem eben beschriebenen Versuch verfährt Volkmann auch hier, indem er auf einem vor dem Auge gehaltenen Brettchen die Nadeln f b aufsteckt und durch die in h i k vorgesteckten Nadeln verdeckt. Fixirt er nun die Nadel in h, so deckt sie f, zugleich aber auch wird b durch i und g durch k

verdeckt; fixirt er k, so wird dadurch g gedeckt, zugleich b durch i und f durch h. Es würde, wenn der Versuch sich wirklich in der Art verhielte, allerdings dadurch, wie leicht ersichtlich ist, ein Beweis des aufgestellten Satzes gegeben sein; es ist das aber nicht der Fall, da ich bereits oben auseinandergesetzt habe, dass das einfache Verstecken der Nadeln h, i und k in der Richtung von f, b und g durchaus nicht die nöthige Genauigkeit giebt; weil bei überaus kleinen Differenzen der Winkel sehr grosse Schwankungen in der Länge der Seiten entstehen.

Man kann aber den Versuch auf eine genauere Weise anstellen, und so zugleich die Unhaltbarkeit desselben darthun.

Wenn man nämlich von b gleiche Stücke nach f und g hin abschneidet, und über fg ein gleichschenkliches Dreieck fcg construirt; dann b mit c verbindet, so hat man die Winkel bei f und g mit einer bei weitem grössern Genauigkeit construirt. Verkürzt man nun das Brettchen in so weit durch einen transversalen Schnitt, dass noch etwa 2‴ von bc von c aus entfernt werden, stellt in f, b und g Haarvisire, an irgend einer Stelle der Linien fc, bc, gc aber Diopter auf, so kann man das ganze Instrument leicht in eine Stellung gegen das Auge bringen, bei welcher bei abwechselndem direktem Sehen nach f, b und g die Haare in der Mitte der Diopter von h, i und k einspielen. Man wird sich aber auch, wenn der Versuch mit der nöthigen Genauigkeit angestellt worden ist, bald davon zu überzeugen

Gelegenheit haben, dass, während b in der Mitte von c steht, f sowohl als g nicht in der Mitte von h und k, sondern mehr nach innen hin liegen, während wenn man f fixirt und dieses im Diopter h liegt, b und g nicht in i und k, sondern gleichfalls mehr nach innen erscheinen.

Mile hat einen Versuch angegeben, durch den er die Volkmannsche Ansicht widerlegen will, der aber meiner Ansicht nach nichts zu beweisen scheint.

Man fixire nach demselben eine Lichtflamme mit direktem Sehen, indem man das andere Auge schliesst; und schiebe dann ein Kartenblatt, etwa in der Entfernung von zwei Zollen vom Auge, von der Nase her vor das letztere soweit vor, dass das Licht aus dem Auge entschwunden ist. Wenn man nun den Kopf, das Kartenblatt und die Lichtflamme unverändert in ihrer wechselseitigen Lage erhält, das Auge aber nach aussen rollt, um einen in dieser Richtung gelegenen Punkt zu fixiren, so wird die Lichtflamme sogleich wieder durch indirektes Sehen wahrgenommen.

In Fig. XII. sei d der Drehpunkt des Auges, das abwechselnd den Punkt a und den Punkt b durch direktes Sehen fixirt. Ist das Auge nach a gerichtet, so schwindet das Bild von a aus dem Gesichte, sobald die undurchsichtige Wand zz′ so weit vorgeschoben ist, dass die Verlängerung einer Linie az′ bis zum äussern Rande der Pupille hingeht, das heisst, bis der Schlagschatten von zz′ die ganze Pupille verdeckt, und auf diese Weise alle von a

ausgehenden Strahlen von der Retina abgefangen werden. Es ist nun aber natürlich, dass, sobald das Auge sich nach aussen dreht, der Schatten, den zz' wirft, nicht mehr die Pupille verdecken kann, da ja bei der Drehung des Auges die letzte nach aussen tritt. Indem nun also Lichtstrahlen von a zur Retina gelangen, kommt auch die Lichtflamme wieder zur Perception.

Wenn man einen Andern diesen Versuch machen lässt, so sieht man auch leicht die Richtigkeit der gegebenen Erklärung ein, indem bei direktem Sehen nach a und der beschriebenen Stellung von zz' die ganze Pupille verdunkelt ist, beim Sehen nach aussen aber sogleich wieder beleuchtet erscheint.

Der oben bereits ausführlich beschriebene Winkelmesser wurde von Volkmann dazu angegeben, den Punkt zu bestimmen, in welchem sich die Richtungslinien des Sehens in der Höhle des Auges schneiden. Da dieses Instrument die zu beobachtenden Winkel bis zu einer Genauigkeit von 3 Minuten erkennen lässt, die gesuchte Tangente bei dieser Grösse des Winkels immer nur eine etwanige Schwankung von einer halben Linie giebt, so liesse sich allerdings durch dasselbe näherungsweise und aus einem Mittel vieler Beobachtungen der Kreuzungspunkt der Richtungslinien ermitteln, wenigstens aber bestimmen, ob derselbe mit dem Drehpunkte des Auges zusammen, falle. Volkmann ist bei seinen Ablesungen in den Fehler verfallen, in den ich jeden verfallen sehe, den ich den Versuch an dem Instrumente zu machen

auffordere; es ist ihm nämlich nicht gelungen, das zur Seite aufgestellte Haarvisir bei d mit indirektem Sehen zu fixiren, vielmehr hat er abwechselnd mit direktem Sehen b und d ins Auge gebracht, und auf diese Weise nicht den Kreuzungspunkt der Richtungsstrahlen, sondern nur den Drehpunkt des Auges bestimmt.

Ganz entgegengesetzt den Beweisen, aus welchen Volkmann die Identität des Drehpunktes und des Kreuzungspunktes der Sehstrahlen darzuthun sucht, ist es mir gelungen zu zeigen, dass wenn zwei Objekte bei direktem Sehen in einer Linie zu liegen scheinen, sie bei indirektem auseinanderweichen und zwar immer in der Art, dass der entferntere näher der Augenaxe wahrgenommen wird.

Das Diopter auf dem drehbaren Lineal liegt bei meinem Instrument 20—21 Linien vom vordersten Punkt der Hornhaut entfernt, sein Einschnitt hat 0,1 Linien Breite, das Haar des Haarvisirs ist in einem Metall-Rahmen von 6,5 Linien Breite eingespannt, und bei diesen Grössenverhältnissen deckt der Metall-Rahmen des Haarvisirs genau den lichten Raum zu, den ich durch die Oeffnung des Diopters sehe, so dass, wenn ich bei direktem Sehen das Haar genau in die Mitte des Diopters gebracht, ich weder nach rechts noch nach links hin einen lichten Strich erkenne, der augenblicklich auf der einen oder der anderen Seite erscheint, sobald das Haar nicht genau in der Mitte des Diopters steht.

Als ich mit dem Instrumente die Stelle des Drehpunktes genau messen wollte, indem ich abwechselnd nach dem einen und dem andern Haare visirte, bemerkte ich, dass, wenn beide Diopter genau gestellt waren, immer am äussern Rande desjenigen Haarvisirs, das ich mit indirektem Sehen betrachtete, ein heller Lichtstreif erschien. Durch fortgesetzte Beobachtung gelangte ich endlich dahin, bei indirektem Sehen das Diopter in eine solche Lage zu bringen, dass das Haar in seiner Mitte sich befand, und stellte eine grosse Reihe von Messungen in der Art an, wie Volkmann sie anstellen wollte, um auf diese Weise, wenns möglich, den Kreuzungspunkt der Richtungslinien bei indirektem Sehen als einen Punkt, der offenbar vor dem Drehpunkte des Auges liegen musste, zu bestimmen. Späterhin habe ich mich aber davon überzeugt, dass der ganze Versuch auf einer falschen Deutung der Refractionserscheinungen des Auges beruhe, und dass sich eine einfache mathematische Erklärung des Phänomens geben lasse, vermöge deren selbst in dem Falle, dass wirklich die Richtungslinien des Sehens durch den Drehpunkt des Auges gingen, zwei Objekte, die sich bei direktem Sehen deckten, einander nicht deckend erscheinen müssen, wenn bei unveränderter wechselseitiger Stellung derselben und unveränderter Stellung des Kopfes die Richtung der Augenaxe sich verändert.

Diese Erklärung ist sehr einfach folgende. Bedenken wir nämlich, dass von allen Strahlen, die auf die Hornhaut auffallen, nur diejenigen ins Innere

des Auges gelangen, welche die Pupille durchlässt, während die andern von der Irismembran aufgefangen werden, so zeigt eine Beobachtung des Durchschnitts vom menschlichen Auge, dass der Axenstrahl eines Lichtkegels, der von einem 20 Grad von der Augenaxe entfernten Gegenstande herkommt, gerade schon am Irisrande vorbeigeht, der grössere Theil des Lichtkegels, dem er angehört, also von der Irismembran abgefangen wird. Von Gegenständen, welche noch weiter hinaus liegen, gelangt der Axenstrahl gar nicht mehr ins Auge, und es kann nur ein kleiner Theil der Randstrahlen die Retina treffen.

Es lässt sich der Winkel genau messen, unter welchem ein Gegenstand seitlich von der Axe des Auges liegen muss, um seinen Axenstrahl noch ins Innere des Auges durch die Oeffnung der Pupille hindurch senden zu können.

Die Hornhaut mit der dahinter gelegenen vorderen Augenkammer bis zur Iris hin kann auf die Ablenkung der in diesen Raum hineingelangenden Lichtstrahlen nur wie eine einfache planconvexe Linse wirken, so dass von einem jeden leuchtenden Punkte, welcher an irgend einer Stelle des Raumes liegt, in der vorderen Augenkammer der Axenstrahl ein Radius der Kugel sein wird, nach welchem die Hornhaut gewölbt ist. Gesetzt CRA (Fig. XIII) wäre die Cornea eines Auges, CI und SA der Durchschnitt durch die Iris, in Z läge der Mittelpunkt der Kugel, welcher das Segment CA angehört, so sehen wir in dem Raume CISAR einen Durchschnitt der vor-

deren Augenkammer, in dem der Lauf der Lichtstrahlen ganz derselbe sein muss, wie in einer gewöhnlichen Linse.

Es wird also für einen jeden Punkt B im Raume einen Strahl geben BZ, welcher ungebrochen durch diese Linse hindurch geht. Gelangt dieser Strahl noch durch die Oeffnung der Pupille, so trifft er hinter ihr auf anders brechende Medien und wird abgelenkt; liegt aber B bis zu einer bestimmten Stelle nach aussen, so wird er von der Iris abgefangen und gelangt gar nicht mehr zur Retina. Es sind uns aber alle Daten bekannt, um die Grösse des Winkels messen zu können, in welchem B von der Axe des Auges entfernt sein muss, wenn sein Axenstrahl nicht mehr durch die Pupille hindurch gelangen, sondern von der Iris abgefangen werden soll. Die Krümmung der Hornhaut ist messbar, also auch ZR, der Radius der Kugel, welcher der Cornea-Krümmung angehört. Ferner können wir die Weite der Pupille im Durchschnitte auf 1, 5‴ annehmen, und da der Abstand der Iris von dem vordersten Punkte der Hornhaut gleichfalls mit ungefährer Sicherheit auf 1, 1‴ ermittelt worden, so ist trigonometrisch das Dreieck ZSR bestimmt, und wir finden tg: R′ ZS etwa gleich 20°.

Es liegt hierin der Beweis, dass von einem jeden Punkte, welcher mehr als 20° von der Axe des Auges entfernt liegt, der Axenstrahl von der Iris bereits abgefangen wird.

Fragen wir nun aber, in welcher Art sich die durch die Pupille hindurchgehenden Sehstrahlen verhalten müssen? Es lässt sich von vorn herein als wahrscheinlich annehmen, dass nur an der Stelle der Netzhaut, die der Augenaxe entspricht, eine solche Vereinigung der Lichtstrahlen stattfinden kann, die ein scharf begrenztes Bild erzeugt, und alle andern d. h. alle Punkte ausserhalb der Augenaxe immer nur von Zerstreuungskreisen getroffen werden. Es lässt sich das schon aus folgendem einfachen Versuche entnehmen. Sticht man zwei feine Oeffnungen in ein Kartenblatt, etwa nur ½″ von einander entfernt, und hält dieselben in der Entfernung der deutlichen Sehweite vom Auge gegen einen lichten Hintergrund, so erscheint immer nur diejenige, welche man eben fixirt, als ein scharf begränzter kleiner Kreis, während die andere grösser und in verwaschenen Umrissen gesehen wird.

Wir wollen aber annehmen (was, wie man sich im Verfolg davon überzeugen kann, für den zu führenden Beweis ungünstiger ist), es gelte auch für einen seitlichen Theil der Netzhaut, dass sich Gegenstände in einer bestimmten Entfernung vollkommen scharf abbildeten, indem sie keine Zerstreuungskreise hervorbrächten, so müsste das Vorhandensein eines solchen Zerstreuungskreises doch jedenfalls als constatirt für zu nah oder zu fern gelegene Objekte angenommen werden, wie wir sie ja selbst an dem vollkommenst percipirenden Theile des Auges in der Augenaxe vorgefunden. ZRA (Fig. XIV) sei die

Cornea, ZISA die Iris, IS die Pupille eines Auges, NT ein Theil der Netzhaut, RM die Augenaxe, B und C zwei seitlich von den Augen befindliche Punkte, die so liegen, dass eine durch sie hindurchgehende Grade den Drehpunkt des Auges trifft, d. h. die sich decken, wenn die Augenaxe RM bei unveränderter Stellung des Kopfes nach B hingerichtet wird. Liegt nun B in der Entfernung des deutlichen Sehens, so wird sich ein Punkt B′ auf der Netzhaut bilden, welcher scharf begrenzt ist, gleichviel welcher Theil der von B ausgehende Strahlenkegel durch die Pupille hindurch gelassen ist, und gleichviel ob der Axenstrahl mit unter jenen Strahlen sich befindet oder nicht. Anders verhält es sich mit C, welches diesseits der deutlichen Sehweite liegt, und dessen Strahlen sich also erst hinter der Netzhaut in C′ vereinigen könnten. CC′ wäre der Axenstrahl des Lichtkegels, welcher von C aus gegen das Auge gesendet wird. Wäre die Blende der Iris nicht vorhanden, so würden sich in C′ gleichviel Strahlen, die diesseits und jenseits des Axenstrahls liegen, vereinigen, und von dem Strahlenkegel ICK auf der Netzhaut der Zerstreuungskreis $\alpha\beta$ gebildet werden.

Von dem letzten wird aber durch die Irisfläche der Theil $\gamma\beta$ abgefangen, so dass die Netzhaut nur in $\alpha\gamma$ als von demjenigen Theile erregt wird, der nach der Construktion den durch IS hindurch gehenden Strahlen angehört; $\alpha\gamma$ ist aber ein weiter nach aussen liegender Theil als der Punkt B′, und da der Scheinersche Versuch uns aufs deutlichste beweist,

dass, wenn ein weiter von der Augenaxe entfernter Punkt der Retina erregt wird, ein Bild, das weiter nach aussen liegt, im Raume entsteht, so folgt aus der vorigen Construktion, dass, bei der beschriebenen Stellung von B und C, B mehr nach innen, C mehr nach aussen gesehen werden muss.

Es gilt diese Construktion, wie ich nun noch zu zeigen gedenke, nicht nur in den Fällen, in welchen B und C so weit abstehen, dass ihre Axenstrahlen nicht mehr in die Pupille gelangen, sondern auch dann, wenn der Winkel um vieles kleiner ist; ja genau genommen für eine noch so nahe Stellung der gedachten Punkte an der Augenaxe.

Leicht ersichtlich setzen wir, wenn ein Zerstreuungskreis sich auf der Netzhaut bildet, die Richtung des Gegenstandes, von dem er ausgeht, in die Mitte desselben, und dass die dabei stattfindende Schätzung mit einer grossen Genauigkeit geschehe, lehrt die tägliche Erfahrung aller derjenigen, die mit dioptischen Instrumenten arbeiten. Wenn wir durch eine kleine, nahe vor die Pupille gestellte Oeffnung visiren, so erscheint uns dieselbe als eine grosse Lichtscheibe, und doch sind wir im Stande, mit einer wahrhaft überraschenden Genauigkeit ein Fadenkreuz gegen ihre Mitte einzustellen, um auf diese Weise die Richtung eines entfernten Gegenstandes zu erfahren. Gesetzt nun, die Punkte B und C (Fig. XV) lägen so nahe an der Augenaxe, dass nur ein kleiner Theil ihrer Lichtkegel durch den äussern Irisrand abgefangen würde, so wird folgendes Verhältniss ein-

treten. Die Strahlen vom Punkte B vereinigen sich in der Netzhaut in B′, von dem Strahlenkegel ICK, dessen Vereinigungspunkt in C′ hinter die Netzhautfläche fällt, wird der Theil SCK abgesperrt von dem Zerstreuungskreise $\alpha\beta$, der ohne die Abblendung durch die Iris entstehen würde, fällt der Theil $\gamma\beta$ fort, und es bildet sich nur der Zerstreuungskreis $\alpha\gamma$. In demselben muss der Punkt B′ nicht in der Mitte, sondern nothwendiger Weise mehr nach der Augenaxe hin liegen, da er ja in der Mitte von $\alpha\beta$ seine Stellung hat. Wir könnten aber den Punkt B nur dann in der Richtung von C sehen, wenn er eben in der Mitte von $\alpha\gamma$ stände, jetzt muss er uns mehr nach innen zu liegen scheinen. Wir sehen den Punkt C in der Wirklichkeit nicht an der Stelle, an der er sich befindet, sondern in der Richtung C″; da wir, wie eben bereits bemerkt, die Stelle, an der ein Körper uns erscheint, von dem auf der Netzhaut ein Zerstreuungskreis gebildet wird, nur dem Centrum dieser Zerstreuungsscheibe entsprechend setzen können.

Die Construktion passt vollkommen auf die Ergebnisse beim Gebrauch des Volkmannschen Winkelmessers. Das feststehende Diopter und das feststehende Haarvisir liegen in der Richtung der Augenaxe; Diopter und Visir auf dem im Winkel beweglichen Lineal sind analog den Punkten C und B, und es erhellt aus dem vorn vorgeführten Beweise, dass wenn das Lineal die Stellung hat, in der bei wechselsweiser Drehung des Auges

die Haarvisire in der Mitte der Diopter liegen, das Haarvisir in B bei indirektem Sehen nicht in der Mitte des entsprechenden Diopters, sondern mehr nach der Augenaxe hin gesehen werden müsse, wie es denn auch wirklich bei aufmerksamer Beobachtung gefunden wird. Es gelang mir, mich von der Wahrheit dieser Beobachtungen beim Gebrauche eines Instruments zu überzeugen, bei dem die beiden Haarvisire näher aneinandergestellt waren, als bei dem Volkmann-schen Winkelmesser, bei dem also der Winkel des indirekten Sehens noch geringer, und die Abweichung der Richtung des Diopters noch kleiner sein musste.

Der Fall des indirekten Sehens zweier Gegenstände, die bei direktem einander deckten, kann aber noch ein anderer sein, nämlich der, dass der dem Auge nähere Punkt in der Entfernung der deutlichen Sehweite, der andere aber darüber hinausliegt. Auch dann wird der Erscheinung nach dasselbe auftreten, d. h. wenn ausserhalb der Augenaxe RS (Fig. XVI.) zwei Punkte liegen, B und C, von denen der erste in der Entfernung der deutlichen Sehweite, der andere C jenseits derselben sich befindet, und diese Punkte eine solche Lage haben, dass sie direkt mit dem Auge fixirt einander decken, so wird bei indirektem Sehen C weiter nach innen, B aber weiter nach aussen zu stehen scheinen. Die Art und Weise, wie diese veränderte Richtung der Punkte B und C zu einander bei indirektem Sehen zu Stande kommt, ist folgende:

Liegt B in der deutlichen Sehweite, so vereinigen sich seine Strahlen in B′ auf der Netzhaut, ohne einen Zerstreuungskreis zu bilden, gleichviel wie viele derselben durch die Pupille hindurch gelangen. Der Axenstrahl für den Punkt C, jenseits der deutlichen Sehweite muss nach Gründen, die bereits oben auseinandergesetzt sind, die Richtung nach dem Mittelpunkte der Hornhautkrümmung haben. Der Vereinigungspunkt der von C ausgehenden Strahlen im Auge wird vor der Netzhaut in C liegen, so dass die Strahlen schon wiederum divergirend die letztere treffen und hier einen Zerstreuungskreis bilden.

Wäre nun die Iris nicht als Blende hinter der Hornhaut ausgespannt, so könnten eben so viele Strahlen von C aus rechts von der Axe CB′, als nach links hin ins Auge gelangen, und es wäre der Durchschnitt dieses Kegels dargestellt in ICK; die Iris aber wird leicht ersichtlich auf der Seite, nach welcher hin der durch indirektes Sehen percipirte Körper liegt, den Theil des Strahlenkegels SCK abfangen, und während der gesammte Strahlenkegel ICK auf der Netzhaut einen Zerstreuungskreis $\alpha\gamma$ gebildet hätte, in dessen Centrum B′ läge, fällt, da der Theil SCK nicht ins Auge gelangt, auch sein entsprechender Theil hinter der Kreuzungsstelle der Lichtstrahlen im Auge $\beta C'\gamma$ weg, und der noch bleibende Theil des Zerstreuungskreises wird durch $\alpha\beta$ repräsentirt.

B′ liegt aber nicht in der Mitte von $\alpha\beta$, sondern mehr nach β hin, und da die Stelle der Lichterscheinung im Raume, die von einem Zerstreuungskreise

erzeugt wird, der Mitte desselben entspricht, und ein dieselbe in der Richtung deckender Körper in der Mitte des Zerstreuungskreises auf der Netzhaut liegen muss, so wird B mehr nach aussen, C mehr nach innen gesehen werden.

Endlich sind noch drei andere Fälle in ihrem Vorkommen denkbar, bei denen das Resultat eben so ausfallen wird. Es können nämlich beide Punkte, die wir indirekt sehen, und die sich bei direktem Sehen deckten, diesseits, oder beide jenseits der deutlichen Sehweite des Auges, oder endlich der eine diesseits, der andere jenseits liegen, so dass sich immer nur Zerstreuungskreise auf der Netzhaut von dem näheren Objecte sowohl, als von dem entfernteren bilden.

Am weitesten von einander entfernt müssen die Punkte B und C, die bei direktem Sehen sich deckten, dann zu sein scheinen, wenn B diesseits, C jenseits der deutlichen Sehweite liegt. Es wird dann, wie Fig. XVII. nach den früheren Construktionen zeigt, von dem durch C erzeugten Zerstreuungskreise $\alpha\gamma$ der nach aussen liegende Theil $\beta\gamma$ durch die Iris aufgefangen, während von dem Zerstreuungskreise $\alpha'\gamma'$ der von B ausgeht, der nach innen liegende $\beta'\gamma'$ fortfällt, so dass nur die Theile $\alpha\beta$ und $\alpha'\beta'$ zur Netzhaut gelangen. Da nun diese nicht concentrisch sind, so können sich die Gegenstände, die sie erzeugen, auch nicht im Raume decken, vielmehr wird B weiter nach aussen gesehen werden, weil sein Zerstreuungskreis $\alpha'\beta'$ weiter nach aussen liegt als $\alpha\beta$, der von C hervorgebracht wird.

Es würde zu ermüdend sein, auch noch für die letzten beiden Fälle, in denen nämlich beide mit indirektem Sehen wahrgenommenen Objekte zugleich diesseits oder jenseits der deutlichen Sehweite sich befinden, die Construktion durchzuführen; ich begnüge mich damit, auf die Figuren Nro. XVIII, XIX. zu verweisen, aus deren Betrachtung sich dieselbe nach dem vorhergegangenen aufs leichteste ableiten lässt. Man ersieht, dass auch hier das Resultat der Erscheinung nach das nämliche sein wird, indem gleichfalls das Bild des weiter vom Auge entfernten Gegenstandes näher nach der Augenaxe auf der Netzhaut zu liegen kommt, dasselbe also im Raume mehr nach innen erscheint, als das nähere.

Die gegebenen Auseinandersetzungen lehren uns also, dass zwei Gegenstände, die bei direktem Sehen einander deckten, sich aufhören zu decken, wenn bei unveränderter Stellung des Kopfs die Richtung der Augenaxe verändert wird, und dass immer der näher gelegene weiter nach aussen erscheint, als der entferntere.

Ich habe bei der Beweisführung angenommen, dass wenn ein seitlich von der Augenaxe befindlicher Körper in der Entfernung der deutlichen Sehweite liegt, sein Bild auf der Netzhaut keine Zerstreuungskreise erzeuge, vielmehr scharf begrenzt sei. Die Richtigkeit dieser Annahme dürfte sich nicht mit Bestimmtheit beweisen lassen. Zwar ist es unstreitig, dass seitliche Netzhautbilder von Gegenständen,

die in der Entfernung des deutlichen Sehens liegen, unendlich viel schärfer begrenzt erscheinen, als von solchen, die näher oder entfernter sind, doch ist es mir nicht gelungen, eine Methode zu ersinnen, nach welcher sich das Vorhandensein von kleinen Zerstreuungskreisen oder ihr Fehlen beim indirekten Sehen mit Bestimmtheit nachweisen liesse. Der Scheinersche Versuch reicht hier nicht aus, weil die Perceptionsfähigkeit seitlicher Stellen der Retina zu gering ist, als dass man ihn in Anwendung bringen könnte. Gesetzt aber auch, dass trotz der Krümmung der hintern Fläche des bulbus die seitlich von dem gelben Flecke aufgefangenen Bilder von Gegenständen, die mit direktem Sehen fixirt in der Entfernung der deutlichen Sehweite liegen, ihre genaue Vereinigung nicht in der Fläche der Netzhaut, sondern vor oder hinter derselben hätten, so könnten zwei Fälle als möglich gedacht werden: entweder es giebt noch eine geringere oder grössere Entfernung, in der das Bild ohne Zerstreuungskreise auf die Retina auffallen wird; dann behalten die oben durchgeführten Deduktionen immer ihre Gültigkeit, und es lassen sich alle Stellungen der durch indirektes Sehen wahrgenommenen Objekte auf eine der früher durchgeführten Construktionen reduciren, oder die seitlichen Theile der Linse haben eine so bedeutend stärkere Brechungsfähigkeit, dass selbst aus überaus grosser Nähe kommende Strahlen sich noch vor der Netzhaut vereinigen, dann würde für eine jede seitliche Lage der Objekte der in Fig. XIX dargestellte Fall gelten.

Dass es nicht möglich sei, einen dritten Fall anzunehmen, nach welchem wegen zu geringer Brechungsfähigkeit der seitlichen Theile der Linse selbst aus der Unendlichkeit kommende Strahlen erst hinter der Netzhaut sich träfen, und der beiläufig gesagt, sich dennoch unter die in Fig. XVIII gegebene Construction subsumiren liesse, erhellt aus dem, was wir über die Refractionskraft des Linsenrandes gesehen haben.*)

Wenn nun aber wirklich die bei indirektem Sehen auf der Netzhaut empfundenen Gegenstände nur in dem Falle, dass sie sich ohne Zerstreuungskreise darstellen, genau unter dem Gesichts-Winkel erscheinen, unter dem sie in Bezug auf den Drehpunkt des Auges liegen, während nähere weiter von der Augenaxe nach aussen, entferntere mehr nach innen gesehen werden, so folgt daraus natürlich, dass beim Drehen des bulbus in der Orbita die Gegenstände, deren Bild aus der Augenaxe heraustritt, eine Veränderung ihrer gegenseitigen Lage im Raume erleiden, und dadurch ein wirres Durcheinanderschieben der Objekte hervorgebracht werden müsse. Von einer solchen Verschiebung der Gegenstände gegen einander nehmen wir aber in der Wirklichkeit nichts wahr.

*) Eine früher erwähnte Modification des Scheinerschen Versuchs hat es uns gezeigt, dass die seitlichen Theile der Linse ein stärkeres Brechungsvermögen haben, als die Mitte derselben; man darf es dagegen wiederum nicht aus den Augen lassen, dass die entsprechenden Theile der Nervenhaut vermöge der Krümmung der hinteren Fläche des bulbus näher an der Linse liegen, als die Fläche des gelben Fleckes, so dass auf diese Weise der Wirkung dieser stärkern Refraction entgegen gearbeitet ist.

Der Grund davon lässt sich nur in der geringen Deutlichkeit der Perception auf eben denjenigen Theilen der Netzhaut erkennen, die vom gelben Flecke nach aussen hin liegen. Es ist bereits früher dieses Gegenstandes ausführlicher Erwähnung geschehen, als von der Schwierigkeit der Wahrnehmung durch indirektes Sehen bei den Beobachtungen mit dem Volkmannschen Winkelmesser gesprochen wurde, und an jener Stelle auch gerade wiederum Gelegenheit genommen, zu zeigen, dass wenn der in Rede stehende Versuch mit gehöriger Aufmerksamkeit und nach vorhergegangener vielfacher Uebung angestellt wird, man sich aufs deutlichste davon überzeugen könne, dass wirklich von zwei Punkten, welche beim direkten Sehen einander deckten, der vom Auge weiter entfernte näher nach innen wahrgenommen wird, wenn man beide mit indirektem Sehen betrachtet. Hätte das Auge die Fähigkeit, mit allen Theilen der Netzhaut in gleichem Grade deutlich zu sehen, so würde demnach allerdings ein fortwährendes Durcheinanderwirren der gesehenen Gegenstände bei Bewegungen des Auges bemerkt werden; ja es würde dasselbe sich unserer Beobachtung schon dann nicht mehr entziehen, wenn die Stelle der Netzhaut, mit der wir allein deutlich sehen, nicht so überaus klein wäre.

Herr Professor Fries hat durch Rechnung den optischen Mittelpunkt des Auges zu bestimmen gesucht, geht aber gleichfalls von der Voraussetzung aus, dass die Richtung, in die das gesehene Objekt von uns gelegt wird, dem Axenstrahl des Lichtkegels

entspreche, dem es angehört; eine Voraussetzung, die wie wir eben gesehen haben, nur für Gegenstände gilt, deren Bild sich in der Richtung der Augenaxe darstellt. Seine Rechnungen ergeben für die Lage des Kreuzungspunktes der Sehstrahlen ein anderes Resultat als das Volkmannsche; es soll derselbe von vorn ein Drittel der Augenaxe von der Vorderfläche der Hornhaut entfernt, also etwa 2‴ vor dem Drehpunkte liegen. Diese Angabe soll mit einer ältern von Rochok zusammenstimmen, welche jener aus Beobachtungen genommen haben will, doch ohne die Weise der Beobachtungen anzugeben.

Aus diesen Deduktionen sind wir aber durchaus noch nicht im Stande gewesen, etwas Bestimmtes über die Richtung der Sehstrahlen beim indirekten Sehen zu entnehmen. Die Schwierigkeit des Gegenstandes ist grösser, als sie nach denselben zu sein scheint. Wir haben gesehn, dass durch die Blendung der Iris ein Theil des Zerstreuungskreises abgefangen wird, welchen der ausserhalb der deutlichen Sehweite liegende, mit indirektem Sehen wahrgenommene Gegenstand auf der Netzhaut hervorbringen würde: es ist also leicht ersichtlich, dass, je stärker die Ablenkung geschieht, d. h. je mehr die Pupille contrahirt ist, ein um so grösserer Theil des Zerstreuungskreises verloren geht, während bei grösserer Dilatation der Sehe weniger von ihm abgefangen wird. Da sich nun nach der Grösse des durch die Netzhaut zurückgehaltenen Theils von dem Zerstreuungskreise das grössere oder geringere Auseinander-

weichen des Lichtbildes der indirekt gesehenen Gegenstände richtet, so folgt daraus, dass durch die grössere oder geringere Erweiterung der Pupille, die wiederum von verschiedenen äussern Umständen abhängen kann, die Richtung der seitlichen Sehstrahlen mit verändert werde.

Die geeigneteste Methode zur Lösung der Frage, ob es einen bestimmten Punkt gebe, in welchem sich die Sehstrahlen bei indirektem Sehen im Auge schnitten, und wo dieser Punkt gelegen sei, schien mir folgende zu sein:

Man betrachte durch zwei nebeneinanderliegende, in ein Kartenblatt eingestochene Oeffnungen eine vorgehaltene Nadel, die diesseits der Entfernung des deutlichen Sehens gelegen, ein Doppelbild auf der Netzhaut erzeugt. Von diesem Doppelbilde gehen die Sehstrahlen an einem bestimmten Punkte vor der Netzhaut sich kreuzend nach aussen hin, an zweien Stellen des Raumes das Bild des gesehenen Gegenstandes darstellend. Es werden auf diese Weise, wie Fig. XX zeigt, durch die Richtung der Sehstrahlen, als die gleichen Seiten, und durch die Entfernung der auf der Netzhaut erzeugten und im Raume gesehenen Bilder, als Basen, zwei gleichschenkliche mit ihren Spitzen einander entgegengekehrte Dreiecke gebildet. Wenn es möglich wäre, den Punkt, an dem die Kreuzung der Sehstrahlen stattfindet, zu bestimmen, so würden Beobachtungen es ergeben, ob bei verschiedenen Abständen der Doppelbilder von einander derselbe constant sei oder nicht. Nennt man seine Entfernung von der vordersten Stelle der Hornhaut x, die Distanz des

Doppelbildes in einer bestimmten Entfernung vom vordersten Punkte der Hornhaut $BC=a$, so ist das Dreieck BCK aus den gegebenen Daten nicht bestimmbar, wohl aber dann, wenn man jene Distanz an zwei Stellen im Raume misst, also bei $BC=a$ und bei $B'C'=A$. Die beiden ähnlichen Dreiecke $B'C'K$ und BCK werden durch die Augenaxe $KMNO$ in zwei Paare ähnlicher rechtwinklicher Dreiecke getheilt.

Nennt man in diesen nun $MN=c$, $MO=C$, $NC=\frac{1}{2}a$, $OC'=\frac{1}{2}A$ und $MK=x$,

$$\text{so ist } x+c:\frac{a}{2}=x+C:\frac{A}{2}$$

$$\text{also } x=\frac{aC-Ac}{A-a}$$

d. h: Man erhält die Entfernung des Kreuzungspunktes der Sehlinien vom vordersten Punkte der Hornhaut, wenn man das Produkt aus der Entfernung der ersten Ablesungsstelle und der Distanz des Bildes an der zweiten Ablesungsstelle von dem Produkte aus der Entfernung der zweiten Ablesungsstelle und der Distanz an der ersten Ablesungsstelle abzieht, und mit der Differenz der beiden abgelesenen Distanzen dividirt. Wenn man bei einem und demselben Beobachter die Länge der Augenaxe als constant und ungefähr bekannt annimmt, $=l$, so lässt sich auf die eben beschriebene Weise auch die Distanz der Doppelbilder auf der Netzhaut ermitteln. Es wäre dann nämlich die Entfernung des gelben Flecks von der Kreuzungsstelle der Richtungslinien $l-x$, und setzte man die gesuchte Grösse $=\alpha$, die Entfernung des einen Bildes von der Augenaxe also $=\frac{\alpha}{2}$, so wäre leicht ersichtlich

$$1-x : \frac{\alpha}{2} = x+c : \frac{a}{2}$$

$$\alpha = \frac{a\,(1-x)}{x+c}$$

hierein der Werth von x im Nenner substituirt giebt

$$\alpha = \frac{(1-x)\,(A-a)}{C-c}$$

da nun aber

$$1-x = \frac{A\,(1+c)-a\,(1+C)}{A-a}$$

$$\text{so ist } \alpha = \frac{A\,(1+c)-a\,(1+C)}{C-c}$$

Der Vorwurf, welcher die Volkmannschen Beobachtungen treffen musste, fällt hier fort. Wir haben nämlich gesehen, dass seine Messungen selbst dann kein wahres Resultat gegeben hätten (und das Resultat wäre gerade das entgegengesetzte geworden), wenn sie richtig angestellt wären, weil ein nicht unbedeutender Theil des Lichtkegels beim seitlichen Sehen von der Iris abgefangen wird, und auf diese Weise je nach der näheren oder weiteren Entfernung des gesehenen Objekts dasselbe weiter nach aussen oder näher nach der Augenaxe hin auf der Fläche der Netzhaut sich abbildet.

Bei dem eben in Vorschlag gebrachten Verfahren werden zwei auf der Netzhaut erzeugte Lichtbilder der Beobachtung unterworfen, deren gesammte Strahlen durch die Pupille hindurch gelangen, ohne von der Iris zum Theil abgefangen zu werden, und die noch obenein in einer der sie erzeugenden Lichtstrahlen entgegengesetzten Richtung gesehen werden.

Bei der Ausführung dieser Messung überzeugte ich mich sehr bald, dass die Bestimmung der Distanzen der Doppelbilder eine Genauigkeit erfordere, wie sie durch das Ablesen von fein getheilten Maasstäben nicht erreicht werden kann*). Da die Entfernung der Doppelbilder von einander sehr gering ist, die Grösse einiger Linien selten überschreitet, während der Abstand der Ablesungsstellen von den vorderen Punkten der Hornhaut sie um das 50 bis 100fache übertrifft, so werden die Schwankungen in der Länge von x bei sehr geringen Beobachtungsfehlern sehr bedeutend in Bezug auf a und A werden, da es sich hier um die Tangenten grosser Winkel handelt. Es zeigt auch schon die Betrachtung der Formel

$$x = \frac{aC - Ac}{A - a}$$

dass auf die Ermittlung von x eine genaue Bestimmung von a und A einflussreicher, als die Bestimmung von C und c ist, während auf der andern Seite wiederum auf die Genauigkeit des Resultats kleine Schwankungen in Bezug auf a mehr einwirken, als ähnliche Differenzen, welche A treffen.

Ich glaubte also zur Messung des Abstandes der Doppelbilder eine andere Methode einschlagen zu müssen, und zwar habe ich mich der nachstehenden bedient.

Wenn ein durch eine Doppelöffnung gesehener Körper, z. B. eine Nadel, so weit vom Auge entfernt

*) Volkmann hat solche Messungen angestellt a. a. O. p. 136 und folg.

ist, dass die Ränder des Doppelbildes sich eben berühren, so muss nothwendiger Weise der Abstand der Spitzen gleich der Dicke der Nadel sein, gleichviel, ob diese Spitze gerade in der Mitte des Umfangs der Nadel aufsitzt oder nicht. Es wäre also auf diese Weise die eine Ablesung bis zu einem hohen Grade von Genauigkeit möglich, wenn man eine mikrometrisch gemessene Nadel so weit entfernt, dass die Ränder des Doppelbildes sich berühren, während die Distanz dieser Doppelbilder an einer andern Stelle dadurch ermittelt werden könnte, dass man einen in seiner Breite genau gemessenen Körper, ein Glastäfelchen z. B. so weit entfernte, bis die Spitze der Nadel genau gegen die Ränder des letztern einspielte. Auf diese Idee basirt, liess ich ein Instrument bauen, durch welches ich im Stande gewesen bin, die beabsichtigten Beobachtungen mit der nöthigen Schärfe anzustellen. Es hatte dasselbe folgende Construction:

Ein genau in Pariser Linien getheilter, etwa 4 Fuss langer Maassstab hatte seiner ganzen Länge nach eine Nute, in welcher sich zwei Objektträger vor und zurückschieben liessen. Der vordere derselben diente dazu, die Nadel aufzunehmen, deren Doppelbild der Beobachtung unterworfen werden sollte, während der zweite eine genau gemessene Glastafel trug. Es hatte bedeutende Schwierigkeiten, eine Glastafel darzustellen, deren Kanten möglichst vollkommen parallel waren; es geschah dies in der Art, dass in das Reisser-Werk einer Längentheilmaschine ein Diamant eingespannt, und die Belastung dessel-

ben so gross gemacht wurde, dass er eine untenliegende dünn geschliffene Glastafel zerschnitt, sobald das Instrument in Thätigkeit gesetzt wurde. Auf diese Weise schnitt ich Glastafeln von verschiedener Breite (von 3,4,5 Pariser Linien) ab, welche abwechselnd auf dem zweiten Objektträger des Instruments angebracht werden konnten. Auf dem ersten Objektträger hätten gleichfalls Nadeln von verschiedener Dicke eingespannt, bei der Beobachtung benutzt werden können; da es indessen darauf ankam, möglichst feine Spitzen an der Nadel zu haben, und diese sich bei den stärkern Sorten derselben nicht finden, so wählte ich die feinsten, die ich mir zu verschaffen im Stande war, steckte aber auf dieselbe einen sauber gearbeiteten Metall-Cylinder, der verschieden dicke Absätze hatte und im Durchschnitt wie Fig. XXI erschien. Die einzelnen Absätze konnten abwechselnd zur Beobachtung benutzt werden. Die beiden obersten hatten, mit einem Schieckschen Mikrometer gemessen, eine Dicke von resp. 0,595 und 0,814 Pariser Linien. Nach dem Ende des Instruments war etwa ½ Zoll von demselben entfernt ein Quereinschnitt, in welchem dünne, mit verschieden weit von einander entfernten Doppelöffnungen versehene Blechtäfelchen eingesetzt werden konnten. Der Theil von diesem Quereinschnitte nach dem äussersten Ende war möglichst genau in halbe Pariser Linien getheilt, damit der nebenstehende Gehülfe die Stellung des vordersten Punktes der Hornhaut auf dieser Theilung ablesen könne. Die Ablesung nach blosser Schätzung hätte jedenfalls zu unsichere Re-

sultate gegeben, weshalb denn zur Seite unter einem rechten Winkel ein Stück an dem Instrumente angeschroben war, das ein um einen Punkt drehbares Diopterlineal trug. Das Haarvisir dieses Diopter-Lineals konnte während der Beobachtung genau gegen den vordersten Punkt der Hornhaut eingestellt, und auf diese Weise nachher die Stelle, an der derselbe gelegen, abgelesen werden.

Bei der anzustellenden Beobachtung kam es demnach darauf an, zuerst den vorderen Objektträger so weit zu entfernen, dass die Ränder eines der doppelt gesehenen Absätze sich berührten, sodann aber die auf dem zweiten Objektträger befindliche Glastafel in eine Stellung zu bringen, in der die Spitzen der Nadel genau den Rändern des Glases entsprachen. Es ist auf diese Weise jede zur Berechnung von x nöthige Grösse bestimmt; a ist die Dicke des Absatzes am Cylinder des ersten Objektträgers, der zur Beobachtung gewählt wurde; A die Breite des Glases, c die Entfernung der Nadel, C der Abstand der Glastafel von dem vordersten Punkte der Hornhaut, welche beide unmittelbar auf dem Maassstabe abgelesen werden.

Die Verschiebung der beiden Objektträger wurde durch zwei Schrauben bewerkstelligt, deren Köpfe rechts und links in der Nähe der Stelle angebracht waren, an der das Auge des Beobachters lag. Eine jede Beobachtung war das Mittel aus acht zusammengestellten Ablesungen, welche in folgender Art gemacht waren.

Der erste Objektträger wurde, nachdem er zu nahe gestanden, so weit entfernt, dass die Ränder des

zu beobachtenden Absatzes am Cylinder sich berührten; sein Abstand gab die erste Ablesung für die Grösse c. Sodann ward die Glastafel des zweiten Objektträgers, die zu nahe ans Auge heran gerückt war, durch Abrücken auf die gesuchte Stelle gebracht; ihre Entfernung von der Hornhaut gab die erste Ablesung für C. Nachdem nun die Glastafel beliebig entfernt, und dann so weit wieder dem Auge genähert war, dass die Spitzen der Nadel gegen ihre Ränder genau einstanden, (dritte Ablesung und zweiter Werth für C) wurde der erste Objektträger über die richtige Lage hinaus vom beobachtenden Auge wieder entfernt, und demnächst durch Heranrücken in die gesuchte Stellung gebracht (vierte Ablesung, zweiter Werth für c). Die fünfte und sechste Ablesung wurde in der Art angestellt, dass die Glastafel zuerst durch Abrücken vom Auge, nachdem sie zu nahe gestellt war, und dann durch Nähern, nachdem sie zu weit entfernt worden, in die Lage gebracht wurde, welche die Beobachtung erforderte.

Da die Grössen a und A immer gleich und durch mikrometrische Messungen bis zur nöthigen Genauigkeit bestimmt sind, so kommt es darauf an, c und C so genau als möglich aus dem Mittel vieler Beobachtungen festzustellen.

Die auf diese Weise angestellten Beobachtungen ergaben in allen Fällen für x einen negativen Werth, der mit der Distanz des Doppelbildes sich vergrösserte, woraus folgt, dass die Kreuzung der Richtungslinien nicht in der Höhle des Augapfels, sondern vor dem

Auge und zwar um so weiter vom vordersten Punkte der Hornhaut entfernt stattfinde, je weiter der auf der Netzhaut erregte Punkt von der Augenaxe ab liegt. Die einander nächsten Doppelbilder, welche ich der Beobachtung unterwarf, waren die des ersten Absatzes am Cylinder, deren Abstand nach der Messung gleich 0,595‴. Das Mittel aus einer grossen Anzahl von Messungen ergab für x den Werth 1,5‴, während x bis auf 8,8 wuchs, wenn der zweite Absatz des Cylinders als Objekt der Beobachtung gewählt wurde.

Werden diese für x gewonnenen Werthe in die für die Distanz der Netzhautbilder entwickelte Formel eingesetzt, so ergiebt sich für die beiden der Beobachtung unterworfenen Objekte $\alpha = 0{,}12$ und 0,25.

Ist es nun erlaubt, die aus den vorstehenden Untersuchungen gewonnenen Resultate zusammen zu fassen, so sehen wir, dass erstens die Methoden, deren man sich zur Bestimmung des optischen Mittelpunkts oder des Kreuzungspunktes der Richtungslinien des Sehens bedient, nicht ausreichend seien, indem sie auf der durch den Scheinerschen Versuch widerlegten Hypothese beruhen, dass die Richtung, in der ein seitlich von der Augenaxe gelegener Körper gesehen wird, dem Axenstrahl des Lichtkegels entspreche, der von ihm ins Auge gelangt, und auf Experimenten basiren, deren Unhaltbarkeit genügend dargestellt ist.

Es haben die dabei gemachten Deductionen uns gezeigt, dass seitlich von der Augenaxe gelegene Gegenstände, nur wenn sie in einer ganz bestimmten

von dem jedesmaligen Refractions-Zustande des Auges abhängigen Entfernung vom vordersten Punkte der Hornhaut abstehen, unter demselben Winkel gegen ein durch direktes Sehen fixirtes Objekt erscheinen, unter dem sie wahrgenommen werden würden, wenn abwechselnd das Auge die beiden betrachteten Gegenstände durch direktes Sehen zur Perception brächte, und dass namentlich von zwei Objekten, welche mit direktem Sehen wahrgenommen einander deckten, das entferntere immer näher nach der Augenaxe liegend erscheinen muss, sobald das Auge sich um seinen Drehpunkt nach irgend einer Richtung hin bewegt.

Durch eine eigens erdachte Methode der Beobachtung ist ein anderes, den früheren Ansichten durchaus widersprechendes Resultat für die Lage des Kreuzungspunktes der Richtungslinien des Sehens gewonnen, nach welchem nämlich dieser Punkt kein constanter ist, sondern um so weiter von der Netzhaut abrückt, je grösser der Abstand der Netzhautbilder vom gelben Flecke wird, bei einer Distanz der Netzhautbilder von 0,12‴ schon 1,5‴ vor der Hornhaut liegt, auf 8,8‴ aber wächst, wenn jene Distanz sich auf 0,25‴ vergrössert.

Ueber die zur Gewinnung dieser Resultate gewählte Methode werde ich im nächsten Abschnitte noch einmal zu sprechen Gelegenheit nehmen, um einen Einwurf zu beseitigen, der wegen der Veränderlichkeit des Refractionszustandes der Medien des Auges vielleicht gegen dieselbe gemacht werden könnte.

Von dem Accommodations-Vermögen des Auges.

Ein gesundes, menschliches Auge glaubt alle Gegenstände, in welcher Entfernung sie sich auch befinden mögen, mit scharfen Umrissen begrenzt zu sehen; nur dann, wenn ein Objekt gar zu nahe liegt, ist man gezwungen, dasselbe mehr abzurücken, wenn man es genau betrachten will. Ueber eine gewisse Nähe hinaus kann selbst ein vollkommenes fehlerfreies Auge mit der grössten Anstrengung nicht mehr deutlich sehen; es erscheint ihm alsdann vielmehr ein Punkt als Kreis, ein feiner Strich wie ein breites Band.

Was wir über seinen Bau und die Function seiner brechenden Medien wissen, macht es wahrscheinlich, dass es für ein jedes Auge nur eine bestimmte Entfernung gebe, in welcher die von einem Objekte ausgehenden Strahlen auf der Netzhaut ihre genaue Vereinigung finden, nähere oder entferntere aber ihr Bild hinter oder vor derselben darstellen; eben so wie bei einer camera obscura bei einer bestimmten Stellung

des Objektivglases nur Bilder aus einer bestimmten Entfernung deutlich sich darstellen, und alle andern mit verwaschenen Umrissen gesehen werden.

Die Fähigkeit des Auges, Bilder verschieden weit abstehender Gegenstände gleich scharf begrenzt zu sehen, macht es demnach wahrscheinlich, dass es die Brechung seiner Medien auf irgend eine Weise verändern könne, so dass Objekte, die vermöge ihrer Lage Zerstreuungskreise bildeten, bei der Intention sie zu fixiren, scharf begrenzt wahrgenommen werden.

Man hat durch Versuche eine solche Art der Veränderung zu erweisen gesucht. Wenn man auf einem Papiere einen schwarzen Punkt macht und ihn mit einem Auge in einer Entfernung, in der man mit Leichtigkeit deutlich sieht, aufmerksam betrachtet, so erscheint derselbe vollkommen scharf begrenzt. Bringt man nun in die Richtung der Gesichtslinie, also zwischen den Punkt und die Pupille des Auges einen Stecknadel-Kopf, so dass derselbe den schwarzen Punkt deckt, so wird er, wenn man ihn bis auf eine bestimmte Weite dem Auge in der angegebenen Richtung nähert, zwar noch wahrgenommen werden, aber in unbestimmten Umrissen und gleichsam transparent, während der schwarze Punkt nach wie vor deutlich erscheint. Es liegt nun auch keineswegs in unserer Willkür, beides, den Punkt und den Nadelkopf, zugleich deutlich zu sehen, wohl aber kann man, wenn man seine Aufmerksamkeit auf den Nadelkopf richtet, es hervorbringen, dass dieser scharf begrenzt wahrgenommen werde, während der Punkt

auf dem Papiere undeutlich wird, ohne dass beide Gegenstände ihre Stellung gegen einander und gegen das Auge selbst verändert hätten. Je kleiner die Gegenstände sind, deren man sich zu dem obigen Versuche bedient, desto leichter kann man sich von der Richtigkeit desselben überzeugen.

Die genauere Erklärung ist diese. Betrachtet man den entfernter liegenden Punkt auf dem Papiere, so brechen die Medien des Auges die von ihm ausgehenden Strahlen so, dass die Vereinigung genau in der Fläche der Netzhaut stattfindet. Die Lichtstrahlen, welche von dem näher gelegenen Nadelkopfe ins Auge gelangen, divergiren bedeutender vor ihrem Eintritt in dasselbe, ihre Vereinigung kommt erst hinter der Netzhaut zu Stande, auf ihr stellt sich also kein genaues Bild, sondern eine Zerstreuungsscheibe dar. Fixirt man dagegen den näher liegenden Nadelknopf, wobei sein Bild mit scharfen Umrissen auf der Netzhaut sich darstellt, so muss offenbar die Brechung der Medien des Auges sich so verändert haben, dass die Lichtstrahlen, die früher erst hinter der Retina sich vereinigten, jetzt auf derselben zur Concentration kommen. Bei dieser bedeutenderen Brechungskraft des Auges vereinigen sich aber die von dem entfernter liegenden schwarzen Punkte mit grösserer Convergenz ins Auge fallenden Lichtstrahlen schon vor der Netzhaut in einem Punkte, und stellen auf derselben durch ihre bereits wieder stattfindende Divergenz Zerstreuungsscheiben dar.*)

*) Es hat einige Schwierigkeiten, das Bild eines Gegenstandes zur Perception im Auge kommen zu lassen,

Es liessen sich unzählige Modifikationen dieses Versuchs angeben, die auf dieselbe Weise erklärt werden müssten. Man betrachte irgend einen kleinen Körper mit Aufmerksamkeit in einer Entfernung, in welcher man ihn mit Leichtigkeit deutlich sieht, nachdem man das eine Auge geschlossen, und drehe sich, ohne die Stellung des Objekts gegen das Auge zu verändern, langsam im Kreise herum, so wird man die entfernt liegenden Gegenstände in undeutlichen Umrissen sehen, während augenblicklich die scharfen Begrenzungen des in der Nähe betrachteten Körpers schwinden, sobald man die Intention hat, die hinter ihm liegenden, entfernteren Objekte deutlich zu sehen. Ein anderer Versuch ist einem jeden hinlänglich aus eigener Erfahrung bekannt. Beim Zielen mit einem Feuergewehre kommt es bekanntlich darauf an, drei feste Punkte, von denen der eine das entfernte Ziel ist, die andern beiden, Korn und Visir, die Richtung der Längenaxe des Rohrs bestimmen, im Augenblicke des Abfeuerns in eine Richtung zu bringen. Die Schwierigkeit dieses ganzen Experiments besteht darin, dass, wenn das Auge das Ziel fixirt, Korn und Visir undeutlich werden; während, wenn man auf das Visir sieht, Ziel und Korn zu verschwimmen scheinen.

---

der diesseits oder jenseits des Horopters liegt. Diese Schwierigkeit lernt man leicht überwinden, wenn man das eben nicht fixirte Objekt hin und her bewegt; man wird sich dann leicht daran gewöhnen können, es auch, wenn es stille steht, zu sehen.

Was wir bis jetzt über das Accommodations-Vermögen gesagt haben, gilt nur von dem normal gebildeten und gesunden menschlichen Auge. Anders verhält es sich bei allen denjenigen, die myopisch oder presbyopisch sind.

Das myopische Auge hat nicht die Fähigkeit, in jeder Entfernung scharf begrenzt zu sehen, vielmehr erscheinen ihm alle Gegenstände, die über eine bestimmte Weite entfernt liegen, undeutlich. Die Stelle, über welche hinaus das kurzsichtige Auge aufhört deutlich zu sehen, nennt Hueck den Fernpunkt. Die Brechungsfähigkeit der Medien ist nämlich in dem betrachteten Falle so gross, dass die von den Gegenständen einfallenden Lichtstrahlen schon vor der Netzhaut zur Vereinigung kommen, auf derselben also durch ihre bereits eingetretene Divergenz Zerstreuungskreise erzeugen. Bei den Fernsichtigen ist die Brechungsfähigkeit der Medien des Auges geringer als sie sein sollte, so dass sie entfernte Gegenstände zwar scharf begrenzt sehen, nahe aber nicht, indem die von diesen ausgehenden Lichtstrahlen sich erst hinter der Netzhaut zu einem Punkte vereinigen, während sie auf derselben noch Zerstreuungskreise bilden.

Für ein jedes Auge, selbst ein vollkommen normal gebildetes, giebt es in der Nähe eine Grenze, über welche hinaus, selbst bei der grössten Anstrengung, es die Gegenstände nicht mehr deutlich sehen kann. Hueck hat diesen Punkt, der leicht ersichtlich für die verschiedenen Individuen verschieden weit

entfernt sein wird, den Grenzpunkt genannt; ein Ausdruck, dessen ich mich künftig der Kürze halber zuweilen bedienen werde.

Der Grenzpunkt muss für das kurzsichtige Auge näher, für das weitsichtige weiter ab, als bei dem normalen liegen. Es variirt diese Entfernung sehr bedeutend, so dass man nicht mit Bestimmtheit ein Maximum angeben kann, bei welchem ein Auge schon kurzsichtig genannt werden müsse. Es giebt Individuen, welche noch in einer Entfernung, die geringer als ein Zoll ist, keine merklichen Zerstreuungskreise wahrnehmen; während andere schon unter 12 Zollen undeutlich zu sehen anfangen. Die grössere oder geringere Nähe des Grenzpunktes scheint mehr von der Vollkommenheit des Accommodations-Vermögens abzuhängen, während über die Kurzsichtigkeit das Vorhandensein eines Fernpunktes und über den Grad derselben die Nähe desselben am Auge entscheidet.*) Gewöhnlich nennt man denjenigen kurzsichtig, dessen Fernpunkt noch unter 20 Zoll liegt; wollte man einen jeden für kurzsichtig halten, dessen Auge beim Gebrauche eines passenden Concav-Glases entfernte Gegenstände deutlicher sieht, so würde sich, wie wir weiter unten sehen werden, kein normal gebildetes Auge auffinden lassen, sondern an die Reihe der kurzsichtigen die presbyopischen sich unmittelbar anschliessen. Hueck ist in Bezug hierauf anderer

*) Es sind Augen beobachtet worden, bei denen der Fernpunkt schon 28‴ von der Cornea entfernt lag.

Ansicht; indem er glaubt, ein normales Auge erblicke beim vollkommenen Sehen in der Nähe auch in der grössten Entfernung die Gegenstände so scharf begrenzt, dass kein Concav-Glas dieselben schärfer zu zeigen im Stande wäre; indessen hat die Untersuchung der verschiedensten Augen es mich gelehrt, dass diejenigen, welchen selbst die schwächsten Concav-Gläser entfernte Gegenstände nicht deutlicher zeigen, mehr an die weitsichtigen sich anreihen, indem bei ihnen der Grenzpunkt weiter von der Hornhaut entfernt liegt, als bei den eigentlichen Normal-Augen. Wir werden über diesen Gegenstand noch weiter unten mit grösserer Ausführlichkeit zu sprechen Gelegenheit haben.

Der Grenzpunkt weitsichtiger Augen variirt von 20 bis 60 Zoll. Man sieht also, dass es am zweckmässigsten ist, das kurzsichtige Auge nach der Entfernung des Fernpunktes, das weitsichtige nach der Entfernung des Grenzpunktes zu bestimmen.

Ein normales Auge kann die Erscheinung der Myopie und Presbyopie künstlich in sich hervorbringen, indem es, nachdem das andere Auge geschlossen ist, einen nahen Gegenstand fixirt und dabei seine Aufmerksamkeit soviel als möglich auf entfernte richtet. Das zweite Auge muss deshalb geschlossen werden, weil sonst bekanntlich alle Objekte diesseits und jenseits des Horopters doppelt gesehen werden. Es wird dann Alles, was über den fixirten Punkt hinaus liegt, ganz wie von einem Kurzsichtigen gesehen, grosse Zerstreuungskreise auf der Netzhaut bildend.

Viele Beobachter sind im Stande durch die blosse Intention nahe zu sehen, ohne einen im Raum liegenden Körper wirklich zu fixiren, das Auge für nahe gelegene Gegenstände einzurichten, und so dasselbe temporair myopisch zu machen.

Der Zustand der Weitsichtigkeit kann auf dieselbe Weise für ein normales Auge zur Beobachtung gebracht werden, wenn man nämlich, nachdem das andere Auge geschlossen ist, das geöffnete nach einem fernliegenden Objekte hin richtet, und dabei in grösserer Nähe sich befindende zur Beobachtung zu bringen sucht. Auch bei diesem Versuche würde man, wenn man ihn mit beiden geöffneten Augen anstellte, die Gegenstände, für welche das Auge nicht adaptirt ist, gedoppelt wahrnehmen; eine Beobachtung, die man häufig unwillkürlich macht, indem man bei gedankenlosem Hinstarren keinen bestimmten Punkt im Auge fixirt, und dabei plötzlich nahe oder entfernte Gegenstände in Doppelbildern zur Perception kommen.

In welcher Art dem Kurzsichtigen concav, dem Weitsichtigen convex geschliffene Gläser den Fehler des Auges aufheben, indem sie den in das Auge fallenden Lichtstrahlen eine geringere oder stärkere Convergenz geben, ist hinlänglich bekannt und ergiebt sich aus dem Vorherangeführten auch von selbst. Es ist aber auch eben so erklärlich, dass, wenn ein zum Fernsehen eingerichtetes Auge nahe Gegenstände undeutlich sieht, diese Undeutlichkeit augenblicklich verschwinden müsse, sobald ein passendes Convex-Glas vor das Auge geschoben wird, und dass ebenso

ein passendes Concav-Glas entfernte Gegenstände deutlich erscheinen lässt, wenn dieselben kurz zuvor dem für nahe Gegenstände eingerichteten Auge undeutlich waren. Man hat die aufgeführten Versuche auf keine andere Weise, als durch eine Veränderung in der durch die Medien des Auges hervorgebrachten Brechung der Lichtstrahlen erklären zu können geglaubt, und die Richtigkeit dieser Erklärungsweise scheint noch durch die Möglichkeit bestätigt, sie in ihrer ganzen Ausdehnung an einer einfachen Linse zu wiederholen. Setzt man nämlich in ein Brett oder in ein Stück Pappe, in dem man zuvor ein passendes Loch eingeschnitten, eine Convex-Linse von beliebiger Brennweite ein und stellt hinter derselben eine weisse Wand so auf, dass das Bild eines entfernten Gegenstandes mit vollkommener Schärfe sich auf derselben abbildet, so wird, wenn man in grösserer Nähe vor dem Glase einen kleinen Körper, z. B. die Spitze eines Federmessers aufstellt, das Bild dieser sich nur mit sehr unbestimmten, kaum erkennbaren Umrissen auf dem Papiere darstellen, augenblicklich aber scharf begrenzt erscheinen, wenn man vor die Linse noch ein zweites passendes Convex-Glas vorsetzt. Hat man dagegen durch Entfernung der weissen Wand von der Linse das Bild des nahen Gegenstandes deutlich dargestellt, so wird der entferntere mit verwischten und gleichsam verloschenen Rändern gesehen, augenblicklich aber deutlich werden, wenn man vor die Linse ein passendes Concav-Glas gestellt hat.

Da nun ein gutes Auge in verschiedenen Entfernungen deutlich zu sehen im Stande ist, so darf man

daraus auch schliessen, dass beim Sehen in die Entfernung und in der Nähe irgend welche Veränderung in der Beschaffenheit oder wechselseitigen Lagerung, oder Brechungsfähigkeit der Medien des Auges vor sich gehen müsse, um das deutliche Sehen möglich zu machen. Man hat die strahlenbrechenden Kräfte der durchsichtigen Theile des Auges berechnet, ebenso kennt man aus Messungen, die mit möglichster Genauigkeit ausgeführt sind, die Krümmungen ihrer Flächen und die Entfernung derselben von einander; und konnte also aus diesen Daten nach bekannten Formeln die Entfernung des Vereinigungs-Punktes der Strahlen, die aus verschiedenen Entfernungen in das Auge gelangen, berechnen. Rechnungen dieser Art ergeben es, dass bei abwechselndem Sehen in unendliche Entfernung und in der Distanz von einigen Zollen die Stelle der Vereinigung der ins Auge auffallenden Lichtstrahlen um mehre Linien variiren werde. Allerdings sind Rechnungen dieser Art nicht eben sehr zuverlässig, einerseits, weil das Brechungsverhältniss der durchsichtigen Theile des Auges bei verschiedenen Individuen verschieden und auch durch den Tod bedeutend verändert sein mag, und dann auch aus dem Grunde, weil die Bestimmung der Krümmungsoberflächen der Linse und Hornhaut bis zu der geforderten Genauigkeit beinahe unmöglich ist. Zu dem ist man noch genöthigt, aus Messungen das Mittel zu nehmen, die an verschiedenen Individuen angestellt, nicht unbedeutende Differenzen geben. So hat Herr Dr. Senff in Dorpat noch vor kurzem eine Berechnung geliefert, bei welcher er die von

Brewster angegebenen brechenden Kräfte der Medien des Auges in der Rechnung mit den Messungen, die Herr Professor Krause am menschlichen Auge vorgenommen, zusammenstellte. Er wählte von den beiden von Krause gemessenen Augen dasjenige, welches für das Resultat die günstigsten Werthe lieferte, und dennoch war das letzte so wenig zufrieden stellend, dass selbst beim Sehen in unendlicher Entfernung die Lage des Vereinigungspunktes der Strahlen nicht, wie es zu erwarten war, sich in der Fläche der Netzhaut, sondern beinahe drei pariser Linien hinter derselben ergab.

Ich werde weiter unten noch zu zeigen Gelegenheit haben, dass die oben gegebenen Auseinandersetzungen keinesweges genügen, um eine dem Auge inwohnende Fähigkeit darzuthun, nach welcher es die Refractionskraft seiner Medien oder ihre wechselseitige Stellung zu einander verändern könne, und dass die genannten Erscheinungen sich allein aus der Veränderung der Pupillen-Weite deuten lassen. Zugleich aber werde ich an jener Stelle eine Reihe anderer Versuche darstellen, aus denen das wechselnde Refractions-Verhältniss der Medien des Auges, auch abgesehen von den Bewegungen der Iris, aufs klarste hervorgeht.

Man hat sehr verschiedene Hypothesen aufgestellt, um die Fähigkeit des Auges, nahe und entfernte Gegenstände deutlich zu sehen, aus irgend einer Veränderung, die im Innern oder in der Form des Auges vor sich geht, zu erklären.

Sehr nahe liegt die Idee, dass auf irgend eine Weise beim Sehen nach entfernten Gegenständen die Fläche der Netzhaut näher an den vorderen Theil des Auges hervorrückt, d. h. dass sich die Augenaxe verkürze, während sie wiederum länger werde, wenn man nahe liegende Objekte betrachtet. Von den Augenhäuten kann eine solche Verlängerung und Verkürzung nicht ausgehen, da dieselben ihrer organischen Strucktur nach unmöglich zu den contractilen Gebilden gezählt werden dürften, und weder an ihrer äussern noch an ihrer innern Fläche Muskelfasern angebracht sind, welche die geforderte Verkürzung oder Verlängerung zu bewerkstelligen im Stande wären. Jurin meinte zwar, es befände sich ein solcher Muskel am Umfange der Hornhaut, und Crampton bildet ihn sogar, wie er ihn im Auge des Strausses und des Adlers gefunden haben will, ab; indessen ist die Ansicht des ersten durch gar keine Beobachtung unterstützt und Cramptons Darstellung als irrig widerlegt worden; indem wahrscheinlich der von ihm als Muskel angesehene Theil der Vorderrand des ligamentum ciliare ist, welcher von der innern Fläche des Knochenringes zur Hornhaut sich fortsetzt.

Man nahm deshalb an, dass möglicherweise die Augenaxe durch das gleichmässige Anziehen der um den Umfang der Hornhaut befestigten geraden Augenmuskeln verkürzt und durch ihre Erschlaffung verlängert werden könne. Molinette brachte zuerst diese Ansicht vor, die späterhin von vielen Andern vertheidigt wurde.

Die geforderte Wirkung kann offenbar nur bei einer soliden Unterstützung des Augapfels an seinem hintern Theile möglich werden; fehlte eine solche Unterstützung, so müsste durch die Zusammenziehung der in Rede stehenden Muskeln der Bulbus, ohne seine Gestalt zu verändern, nach dem hintern Theile der Augenhöhle hingezogen werden. Gesetzt nun auch, das Fettpolster der Orbita könnte als ein hinlänglich fester Gegenhalt angesehen werden, so würde doch jedenfalls eine grössere Spannung der Augenmuskeln beim Sehen in der Nähe eintreten; Erschlaffung, sobald das Auge in die Entfernung gerichtet wird, weil die beim Nahesehen nöthige Convergenz der Augenaxen nicht ohne Anspannung der Augenmuskeln herbeigeführt werden kann, und auf diese Weise die Verkürzung der Augenaxe gerade beim Nahesehen einträte, wo die Verlängerung derselben nöthig wäre.

Deshalb scheint es auch Andern wahrscheinlich, dass die beim nach Innen-Rollen des Auges nöthige Contraction der geraden Augenmuskeln eine zirkelförmige Zusammenschnürung des Augapfels an ihrer Ansatzstelle und auf diese Weise eine Verlängerung des Augapfels hervorbringen könne. Eine scheinbare Bestätigung sucht man in dem Umstande, dass an der Ansatzstelle der Muskeln die Sclerotica gerade am dünnsten, also auch am leichtesten compressibel und bei manchen Thieren, die vermöge ihres Aufenthalts im Wasser und auf dem Lande eine sehr bedeutende Adaptions-Fähigkeit haben müssten, z. B. bei den Robben, gerade vorzugsweise dünn ist. Es machte

hierauf Blumenbach zuerst aufmerksam. Auch die knöchernen Schuppen im Umfange der Sclerotica der Vögel scheinen durch eine wechselseitige Verschiebung über einander, eine Compression des bulbus zu gestatten, und Schmidt, der zuerst diese Ansicht aufstellte, glaubt dieselbe durch anatomische Untersuchung noch wahrscheinlicher gemacht zu haben. Er fand nämlich, dass von den einzelnen Schuppen des Knochenringes sehnenartige Fasern ausgehen, welche mit den Muskelsehnen verschmelzen, und auf diese Weise das Uebereinanderschieben der Schuppen möglicher Weise erleichtern könnten.

Wenn eine zirkelförmige Zusammenschnürung am Umfange des bulbus wirklich statt fände, so müsste dadurch, wie Home gezeigt hat, die Hornhaut convexer werden. Bei einer Verlängerung der Augenaxe um eine halbe pariser Linie würde sich nach Olbers Rechnung, welcher auch der eben durchgeführten Ansicht beizutreten geneigt ist, der Radius der Hornhaut-Krümmung von 0,333 auf 0,273 verkürzen, eine Veränderung, welche ausreichte, um sowohl beim Fern- als auch beim Nahesehen die Vereinigung der Strahlen auf der Netzhaut möglich zu machen. Olbers macht ausserdem noch darauf aufmerksam, dass durch die erwähnte Verlängerung der Augenaxe auch nothwendig der Glaskörper, welcher nach hinten auszuweichen nicht im Stande sei, die Linse gegen die Iris hindrängen und auf diese Weise ihren Abstand von der Netzhaut vergrössern müsse.

Es sind mit die grössten Autoritäten, welche die angedeutete Ansicht theilen, so wie es denn überhaupt die am allgemeinsten angenommene und in die gewöhnlichen Compendien übergegangene Lehre von der Accommodation des Auges ist. Boerhaave, Haller, Buffon, Meckel, Parrot, Olbers, Blumenbach, Carus, Rudolphi, Arnold, Lobstein und viele andere stimmen ihr bei, oder haben sie nach der einen oder der anderen Seite hin vertheidigt.

Am ausführlichsten finde ich sie in einem Aufsatz von Home ausgeführt und mit wissenschaftlichen Gründen unterstützt; ich werde es deshalb versuchen, diese, wenn möglich, zu widerlegen, um die Unhaltbarkeit der Theorie darzuthun. Home bemüht sich durch Versuche darzuthun, dass die Linse nichts zur Accommodation des Auges beitrage, und zwar auf folgende Weise.

Er unterwarf einen jungen Schiffer, an dessen einem Auge er die Ausziehung des grauen Staars gemacht hatte, folgenden Versuchen. Es konnte das operirte Auge Gegenstände auch ohne Glas erkennen, nur waren sie undeutlicher und zwar vorzugsweise in einer Entfernung zwischen 6 und 9 Zoll; mit einer Linse von 2¼ Zoll Brennweite sah er am deutlichsten in einer Entfernung von 4½ Zoll. Der Operirte betrachtete nun die Schrift eines Buches, das er selbst in der Hand führte, und gab an, die Undeutlichkeit derselben würde erst bei einer Nähe unter 2½ Zoll und in einer Entfernung über 5½ Zoll so gross, dass er sie nicht mehr zu lesen im Stande sei. Wurde

vor das operirte Auge ein Convex-Glas von 15 Zoll Brennweite gehalten, so erschienen bei einem Versuche die Gegenstände am deutlichsten in der Entfernung von 8½ Zoll, die äussersten Grenzen des deutlichen Sehens waren 3 und 11 Zoll. Ein zweiter Versuch bestätigte die Resultate des ersten fast vollständig. Wurde das Glas, durch welches das operirte Auge sah, bis auf kleine Oeffnungen, $^3/_{20}$ und $^3/_{40}$ Zoll, abgeblendet, so ergab sich, dass der Punkt des deutlichen Sehens bei derselben Convexität des Glases weiter hinausrückte.

Bei andern Versuchen wurden vor beide Augen Convex-Gläser von verschiedener und zwar in der Art gewählter Brennweite vorgehalten, dass die Weite des deutlichen Sehens für das linke und rechte Auge gleich war. Es diente dazu, für das operirte Auge ein Glas von $2^7/_{10}$ Zoll Brennweite, für das gesunde eines von 6½ Zoll; der Grenzpunkt beider war nun 1⅞ Zoll, der Fernpunkt 7 Zoll, während das operirte mit der grössten Deutlichkeit bei $2^7/_8$, das gesunde bei 3 Zoll sah. Es muss aber noch bemerkt werden, dass das Glas, durch welches das operirte Auge sah, bis auf eine feine Oeffnung von $^3/_{40}$ Zoll abgeblendet war.

Home schliesst nun aus diesen Versuchen, dass beide Augen, das operirte sowohl als das gesunde, einen gleichen Grad der Adaptionsfähigkeit besessen haben, und dass also die Linse, die dem einen fehlte, keinen Einfluss auf jenes Vermögen haben könnte. Es scheint aber dieser Schluss unrichtig und die Ver-

suche nichts weiter zu beweisen, als dass das Auge noch bei einem gewissen Grade von Undeutlichkeit im Stande sei, die Form ziemlich kleiner Gegenstände zu erkennen. Denn Niemand wird es wohl in Zweifel ziehen, dass man auch in dem Falle, dass die zu erkennenden Buchstaben nicht genau und mit vollkommen scharfen Umrissen auf der Netzhaut abgebildet werden, noch zu lesen im Stande sei; es zeigt das schon der Umstand, dass bei der allmähligen Entfernung eines Buches vom Auge die Schrift immer mehr und mehr undeutlich wird, und es nicht einen Punkt giebt, über welchen hinaus die Undeutlichkeit plötzlich eintritt, während diesseits desselben alles vollkommen deutlich gesehen wird.

Was nun aber ausserdem noch diesen Homeschen Versuch besonders untauglich macht, um ihn zu irgend einem Schlusse über das Accommodations-Vermögen zu benutzen, ist der Umstand, dass das operirte Auge durch eine feine Oeffnung sah. Wir werden weiter unten Gelegenheit haben, die Erscheinungen, welche das Sehen durch feine Oeffnungen hervorbringt, ausführlicher zu besprechen; es sei mir erlaubt, nur einer bekannten Thatsache hier Erwähnung zu thun und zu bemerken, dass beim Sehen durch kleine Oeffnungen alle Zerstreuungskreise, die sich auf der Netzhaut bilden, bis zu einer bestimmten Grösse verkleinert werden, so dass also in diesem Falle, die zum Lesen der Druckschrift innerhalb der Grenzen von 1⅓ bis auf 7 Zoll nöthige Deutlichkeit zum grössten Theile auf die vor die Pupille gehaltene feine Oeffnung zu schieben ist.

Nachdem Home diesen Theil seiner Untersuchung beendigt, stellt er die Hypothese auf, dass die Hornhaut des Auges aus zwei Schichten bestehe, deren äussere eine Fortsetzung der Flechsen der geraden Augenmuskeln, die innere die Verlängerung der Sclerotica, das sie vereinigende Medium eine feine zellige Membran sei. Es gelang ihm nämlich, indem er von der Ansatzstelle der Augenmuskeln einen Zug nach der Mitte der Hornhaut hin anbrachte, von dieser eine äussere Schicht im Zusammenhange mit den Flechsen jener Muskeln abzulösen.

Zudem zeigte er durch Versuche, dass sich ein aus der Hornhaut herausgeschnittenes Stück um $^1/_{10}$ seiner Länge durch angebrachten Zug ausdehnen lasse und wieder in seine frühere Lage zurückspringe, sobald der Zug nachlässt. Gestützt auf diese Beobachtung über die Elasticität der Hornhaut und die Anheftungsweise der graden Augenmuskeln glaubte Home schliessen zu können, dass durch eine gleichmässige Contraction der letzten die Wölbung der Hornhaut sich um so vieles verändern könne, als nöthig ist, um ein deutliches Sehen in der Entfernung und in der Nähe möglich zu machen. Er weiset diese Zusammenziehung und die dadurch bedingte Veränderung in der Krümmung der Hornhautfläche durch folgendes Experiment nach.

Der Kopf eines Individuums, das gleich deutlich in verschiedenen Entfernungen sah, wurde in dem Aufschnitte eines festen Brettes möglichst fixirt, und durch eine Vorrichtung in kleiner Entfernung vom Auge ein, mit einer Oeffnung versehenes kupfernes

Blättchen angebracht. Zugleich war an der Seite des Brettes ein bewegliches Mikroskop befestigt, welches so gerichtet werden konnte, dass in seinem Gesichtsfelde die vordere Krümmung der Hornhaut-Oberfläche erschien. In dem Oculare des Mikroskops war ein Mikrometer angebracht, vermöge dessen man leicht kleine Abweichungen in der Form der Hornhaut wahrnehmen konnte. Das beobachtete Individuum sah nun abwechselnd nach der in der Nähe des Auges befindlichen Oeffnung und nach einem in derselben Richtung weit entfernten Gegenstande, und deutete diesen Wechsel durch leise Berührung des Körpers dem Beobachter an.

Es wurden die Bewegungen der Hornhaut vollkommen deutlich. Die Oberfläche blieb in einer Linie mit dem Mikrometer, wenn das Auge nach dem entfernten Gegenstande hinsah, fiel aber beträchtlich aus, sobald es sich nach der Oeffnung in der Kupferplatte richtete. Nachdem diese Versuche öfter angestellt waren, lernte einer der Beobachter, ohne dass ihm ein Zeichen darüber gegeben wurde, aus der wechselnden Bewegung der Hornhaut bestimmen, ob der Beobachtende das in der Nähe oder in der Ferne gelegene Objekt fixirte. Die Grösse des Raumes, um welche die Hornhaut vortrat und zurückwich, wurde auf etwa $^1/_{800}$ eines Zolles geschätzt, was nach Homes Angabe bei einer dreissigmaligen Vergrösserung des Mikroskops gut wahrgenommen werden konnte.*)

*) Von einem geübten Auge wird $^1/_{800}$ eines Zolles bei dreissigmaliger Vergrösserung allerdings wohl noch

Da bei der Veränderung der Krümmungsoberfläche der Hornhaut, das von derselben reflektirte Bild nothwendig in seiner Grösse sich ändern muss, so stellt auch Home Messungen in Bezug hierauf an. Er überzeugte sich zuerst, dass bei Convex-Spiegeln von $^4/_{10}$ und $^5/_{10}$ Zoll Fokalweite eine merkliche und leicht messbare Verschiedenheit der reflektirten Bilder sich fände, während bei zweien Spiegeln, von denen der eine $^4/_{10}$ Zoll, der andere aber $\frac{408}{1000}$ Zoll Brennweite hatte, dieser Grössen-Unterschied kaum wahrnehmbar war. Bei der Beobachtung des Bildes im menschlichen Auge fand er, dass im Anfange des Versuches eine geringe Grössenveränderung des reflektirten Hornhautbildes noch erkannt werden könnte, dass aber, sobald die Beobachtung eine Zeitlang fortgesetzt wurde, dieselbe bei der eintretenden Ermüdung des Auges der Wahrnehmung sich entzöge. Es lehrte dieser Versuch, dass der Krümmungs-Radius der Hornhaut sich möglicher Weise noch um $^1/_{126}$ eines Zolles verändern könne; ein Resultat, das hinlänglich ausreichend wäre, um die Veränderungen der Brechungsfähigkeit der Medien des Auges zu erklären.

Am Schlusse seiner Untersuchungen trägt Home noch Beobachtungen über die Ausdehnbarkeit der Augenhäute menschlicher Leichname vor. Nachdem er die Augen aus der Höhle entfernt und gerei-

---

wahrgenommen, da dieser Raum in dem Gesichtsfelde etwas kleiner als eine halbe Linie erscheint; indessen ist es immer schon eine Grösse, die sich überaus leicht der Beobachtung entziehen könnte.

nigt, entleerte er sie durch eine Oeffnung an der Eintrittsstelle des Sehnerven und dehnte sie durch Einblasen von Luft aus. Es ergab sich bei diesem Versuch, dass der längere Durchmesser von 17 bis auf 17¼ zunahm, während der Querdurchmesser in dem Verhältniss von 17¾ zu 17½ sich verkürzte.

Es schienen mir diese Beobachtungen zu wichtig und ihre Ergebnisse zu entscheidend, als dass ich es hätte unterlassen können, sie so weit als möglich selbst anzustellen. Ehe ich aber auf die Resultate eingehe, die mir die möglichst genaue Wiederholung derselben geliefert hat, will ich vorläufig Einiges anführen, das a priori die Haltbarkeit der auf dem eben angedeuteten Wege zu erkennenden Wahrheiten in einigen Verdacht bringen könnte.

Veränderungen, welche in der Krümmung der Hornhaut vor sich gehen, müssen leicht ersichtlich vollständig gleichmässig sein, wenn nicht die bedeutendsten Störungen in der Brechung der Lichtstrahlen eintreten und verzerrte Bilder hervorgebracht werden sollen; die Kraft also, durch die jene Veränderung erzeugt wird, muss im höchsten Grade gleichmässig wirken. Die Ansatzweise der geraden Augenmuskeln im Umfange der Hornhaut spricht aber keinesweges für die Möglichkeit einer solchen gleichmässigen Wirkung. Es ist nämlich bekannt, dass der Kreis, in welchem die Flechsen der geraden Augenmuskeln sich um die Sclerotica anheften, keinesweges concentrisch mit dem Hornhaut-Rande sei; indem der rectus internus demselben am nächsten,

der externus am entferntesten sich anfügt. Wenn man nun obenein bedenkt, dass das Centrum der Pupille, derjenige Punkt also, auf welchem es bei der veränderten Krümmung der Hornhaut am meisten ankommt, nicht einmal in der Mitte der Hornhaut, sondern dem innern Augenwinkel näher liegt; alle Bewegungen aber, die durch die Contraction der Augenmuskeln hervorgebracht werden können, sich nothwendigerweise an einer von ihren Anheftungs-Punkten gleich weit entfernten Stelle concentriren und ausgleichen müssen, so ergiebt sich, dass die auf diesem Wege erzeugten Veränderungen in der Wölbung der Hornhaut, wenn sie überhaupt existiren, sich nicht an den der Pupille entsprechenden Punkten, sondern mehr nach dem äussern Rande der Hornhaut hin concentriren würden, der Mittelpunkt der Hornhaut aber und der über der Pupille liegende Theil derselben auf eine überaus ungleichmässige Weise bewegt werden müsste.

Obgleich aus dem Gesagten es von vorn herein wahrscheinlich ist, dass die oben aufgeführten Homeschen Versuche, die noch jetzt von Vielen für entscheidend gehalten werden, auf irgend einem Irrthum beruhen, den der grosse Beobachter sich zu Schulden kommen liess, so habe ich doch nicht geglaubt, der Mühe mich überheben zu dürfen, die angeführten Versuche mit der grösstmöglichsten Ausführlichkeit zu wiederholen.

Der Kopf des zu Beobachtenden wurde in einem eigends dazu gearbeiteten Gestelle fixirt, an dessen

Seite sich das bewegliche Mikroskop mit einem Ocular-Mikrometer befand. Das Gestelle war an einem Fenster angebracht, dessen Scheiben von dem Auge des Beobachters 8″, also etwa in der Entfernung der deutlichen Sehweite lagen, und das beobachtete Auge musste abwechselnd eine Stelle im Glase der Fensterscheiben und einen entfernten Punkt, der bei unveränderter Richtung der Augenaxe gleichfalls in der letzteren lag, fixiren. Es war mir aber durchaus nicht möglich, irgend welche regelmässige Schwankung in der Krümmung der Hornhaut-Oberfläche wahrzunehmen, im Gegentheil schienen mir alle Bewegungen, die ich an derselben erkannte, ihren Ursprung in den unvermeidlichen kleinen Bewegungen des ganzen Kopfes zu haben. Es wurde das um so deutlicher, je grösser das Gesichtsfeld des gebrauchten Mikroskops war, und einen je grössern Theil der ganzen Hornhautoberfläche ich in demselben zur Beobachtung bringen konnte.

Dass die Hornhaut in einem bestimmten Grade ausdehnbar sei, fand ich bestätigt. Es ist mir zwar nicht gelungen, einen aus derselben ausgeschnittenen Streifen bis auf $\frac{1}{10}$ seiner Länge durch Zug zu vergrössern, indessen war die Ausdehnung doch merklich genug. Anders aber verhält es sich mit der Frage über ihre Elasticität. Das einmal durch Ziehen verlängerte Stück der Hornhaut sprang nicht zu seiner frühern Kürze zurück, war sogar weniger durchsichtig geworden, erschien fein gefältelt und in seiner Textur etwas verändert.

Ich erwähne dieses Resultat übrigens nur als der Beobachtung Home's widersprechend, keinesweges aber, weil ich glaube, dass bei der beschriebenen Beschaffenheit des todten Auges nicht die entgegengesetzte beim lebenden statt finden konnte. —

So glaube ich demnach behaupten zu dürfen, dass durch eine Formveränderung des Augapfels die Adaption des Auges nicht bewerkstelligt werde, und dass man die Veränderung des Refractionszustandes der brechenden Medien des Auges aus einer Veränderung im Innern des bulbus zu erklären suchen müsse.

Es ist hinlänglich bekannt, dass beim Sehen in der Nähe und in die Ferne, eine äusserlich sichtbare Veränderung in der Erweiterung und Verengerung der Pupille statt finde. Richtet man das Auge auf einen weit abliegenden Gegenstand, so erweitert sich die Sehe und verengert sich, wenn man ein nahes Objekt fixirt. Dass diese Veränderung in der Irismembran im nächsten Bezug und zur Anpassungsfähigkeit des Auges stehe, kann ich aus eigener an mir selbst angestellter Beobachtung eines pathologischen Zustandes entnehmen.

Seit früher Jugend bin ich kurzsichtig und die verschiedensten Augenübel sind in meiner Familie so auffallend häufig, dass drei meiner nächsten Verwandten nur zwei Augen besitzen, einer seit frühster Kindheit ganz erblindet und keiner frei von einer sehr bedeutenden Kurzsichtigkeit ist.

Mein Auge war aber, den Fehler der Kurzsichtigkeit abgerechnet, ganz vortrefflich, so dass ich mit

Hilfe einer Concav-Brille von 9″ Brennweite gleich gut in der Nähe und in der Entfernung sehen und selbst kleine Gegenstände in grosser Nähe mit jenem Glase betrachten konnte, ohne davon irgend welche Unbequemlichkeit zu empfinden. Von meiner Universitätszeit an hatte ich vielfach mich mit mikroskopischen Untersuchungen beschäftigt, und war namentlich genöthigt gewesen, mich schlechter lichtarmer Instrumente zu bedienen, ohne dass auch selbst hiedurch irgend ein nachtheiliger Einfluss für mein Auge entstanden wäre, nur bemerkte ich, dass das obere Augenlied der linken Seite etwas herabsank, die Pupille des rechten Auges, dessen ich mich bei meinen Untersuchungen ausschliesslich bediente, bei jedem Grade der Contraction etwas grösser als die der anderen Seite war.

Vor etwa 3 Jahren verfiel ich in ein nervöses Fieber, das ich mir in Folge einer Verletzung an einer Leiche zugezogen hatte, und bemerkte während der Reconvalescenz zu meinem Erstaunen, dass meine Brille nicht ihre früheren Dienste leistete. Ich sah mit derselben zwar in der Entfernung eben so gut wie früher, wenn ich aber einen Gegenstand fixirte, der näher als 14 Zoll vom Auge entfernt war, so wurde mir sein Bild undeutlich, ich konnte selbst mit grösserer Anstrengung seine Umrisse nicht scharf erkennen, und war genöthigt die Brille abzunehmen, wenn ich schreiben, lesen oder auch selbst nur oberflächlich nahe gelegene Gegenstände erkennen wollte. Zu dem erregte mir jedes hellere Licht eine überaus unangenehme Empfindung und blendete mich auf eine

ungewöhnliche Art. Die Pupillen beider Augen, welche anfangs sich wirklich verzogen hatten, waren übermässig erweitert, vollständig immobil, selbst bei heftigem Lichtreiz sich nicht zusammen ziehend. Bei heller Beleuchtung sowohl als im Halbdunkel hatte die Pupille der rechten Seite 4,1‴, die der linken 2,7‴ im Durchmesser.

Dieser Zustand besteht unverändert fort. Ich versuchte die Brille ganz abzulegen, es stellte sich aber in Folge dessen grosse Schmerzhaftigkeit der Augen und Lichtscheu ein, die augenblicklich nachliessen, als ich mich wiederum zum Gebrauche der Brille entschloss.

Um der Unbequemlichkeit des fortwährenden Abnehmens der Brille, sobald ich einen nahen Gegenstand zu sehen genöthigt war, aus dem Wege zu gehen, entschloss ich mich in dem Sehfelde der Brille zwei Gläser anbringen zu lassen, indem die obere Hälfte desselben ein scharfes Glas von 9″ Brennweite, die untere eines von 22″ einnahm, und mit Leichtigkeit lernte ich mich des Letztern beim Sehen in der Nähe bedienen. Ich muss noch bemerken, dass bei der Sorgfalt, die ich von früher Jugend an auf mein Auge verwandt habe, ich durch fortgesetzte Uebung im Stande war, bei einer Entfernung des Blatts von 9—11 Zollen nicht nur zu schreiben, was bekanntlich eine geringere Deutlichkeit des Sehens erfordert, sondern auch zu lesen.*) — Wunderbar

*) Der Umstand, dass ich durch Uebung es dahin gebracht hatte, mit meinem kurzsichtigen Auge in einer Entfer-

erschien es mir, dass ich nach dem Entstehen des eben beschriebenen Augenübels in der Nähe durchaus nicht mehr so deutlich sah, und dass sich die Sehweite meines Auges vergrössert hatte. Wenn ich irgend einen Gegenstand mit unbewaffneten Augen möglichst deutlich sehen wollte, musste ich denselben bis auf 14″ wie ein Weitsichtiger entfernen; näherte ich ihn bis auf 7″, so fingen mir seine Umrisse an zu verschwimmen, und ich empfand ein unangenehmes Gefühl im Auge. Dieser Zustand hat sich in so fern geändert, als meine deutliche Sehweite jetzt 9 Zoll ist; über 10 Zoll hinausgerückt und näher als 7 Zoll fangen die betrachteten Objekte an merklich undeutlicher zu werden. Nach wie vor bin ich indessen so kurzsichtig, dass ich mich wie gesagt einer Brille von 9″ Brennweite bedienen, und auf wenige Schritte einen Menschen nicht zu erkennen im Stande bin. Dass aber die geringere Schärfe meines Auges für nahe Gegenstände nicht etwa in einer unvollkommenen Empfindung der Netzhaut, sondern nur in einem fehlerhaften Brechungsvermögen der Medien lag, konnte ich aufs deutlichste aus der Vollkommenheit entnehmen, mit der ich nach wie vor beim Gebrauch meiner optischen Instrumente sah.

---

nung gut zu sehen, in der sonst nur normal gebildete Augen zu sehen im Stande sind, ohne dass meine Kurzsichtigkeit sich im Geringsten verbessert hatte, machte es mir von vorn herein unwahrscheinlich, dass man durch Berthold's Verfahren die Kurzsichtigkeit zu heben im Stande sein werde. Versuche, die mit seinem Instrumente mit Ausdauer hier angestellt sind, haben diese Ansicht bestätigt.

Das, was ich als Beobachtung an meinem eigenen erkrankten Auge vorgetragen, scheint mir zu beweisen, dass sein Adaptions-Vermögen aufgehört hatte, oder wenigstens im höchsten Grade verringert war, sobald die Iris ihre Mobilität verloren hatte.

Ich werde Gelegenheit haben, von diesem Krankheitsfall weiter unten noch einmal zu sprechen, und ausführlich die Folgerungen, welche sich aus demselben für's Adaptions-Vermögen des Auges ziehen lassen, näher zu erörtern.

Es hat nicht an Physiologen gefehlt, welche es unternommen haben, das ganze Anpassungsvermögen des Auges aus der Erweiterung und Verengerung der Pupillen beim Fern- und Nahesehen zu erklären. Die ausführlichste Abhandlung über diesen Gegenstand besitzen wir bekanntlich in dem eben so schätzenswerthen, als leider für die meisten Physiologen unverständlichen und unzugänglichen Werke von Treviranus über die blättrige Structur der Crystalllinse.

Treviranus glaubt in diesem Werke dargethan zu haben, dass diese blättrige Structur der Linse eine verschiedene Brechkraft derselben in ihrem Centrum und an ihren peripherischen Theilen bedinge, dass dieselbe nämlich nach den Rändern hin geringer, in der Mitte stärker sei, und dass auf diese Weise beim Sehen in der Entfernung die Randstrahlen gerade auf der Netzhaut ihren Focus haben, während sie beim Sehen in der Nähe durch die Contraction der Pupille abgehalten werden, und nun durch die stärker brechenden Medien aus der Mitte der Linse eine Ver-

einigung der Strahlen, die von näher liegenden Gegenständen ausgehen, genau auf der Fläche der Retina erzeugt werden könne.

Ich darf mich, da es vor mir Männer von hohem Rufe gethan, nicht schämen, wenn ich frei erkläre, dem Gange der verwickelten Rechnung, durch welche Treviranus seine Ansicht zu erweisen glaubt, nicht folgen zu können. Wären dieselben unumstösslich richtig, was nach den Arbeiten von Kohlrausch immer noch einigem Zweifel unterworfen sein dürfte, so würde meiner Ansicht nach dennoch selbst das bewiesene Resultat nicht ausreichen, die Phaenomene der Adaption des Auges zu erklären. Denn wenn man auch annähme, dass die Brechungsfähigkeit der Mitte des Krystallkörpers gerade so gross wäre, um beim Sehen in der Nähe eine genaue Vereinigung der Lichtstrahlen auf der Netzhaut zu erzeugen, und alle diejenigen Theile der Linse, welche eine geringere Brechungsfähigkeit haben, in diesem Falle durch die contrahirte Pupille abgeblendet werden, und dass ferner wirklich beim Sehen in die Entfernung die dem Pupillar - Rande zunächst durch die Linse hindurchgehenden Strahlen immer diejenige Brechung erleiden, vermöge welcher ihre Vereinigung auf der Retina statt findet; so müsste doch gerade beim Sehen in der Entfernung der mittlere Theil des in das Auge gelangenden Strahlenkegels, vermöge der stärkeren Brechung des Centrums der Linse, schon im Innern des Glaskörpers seinen Vereinigungspunkt finden, und auf diese Weise seine

Strahlen wieder divergirend zur Netzhaut gelangend, Zerstreuungskreise bilden.

Herr Alexander Hueck hat in seinem verdienstvollen Werke über die Bewegung der Crystalllinse noch andere Einwände gegen Treviranus Ansicht vorgebracht, die nicht von geringerer Wichtigkeit scheinen, und von denen ich einzelne, weil sie direkte Folgerungen aus neueren von ihm angestellten Beobachtungen sind, wiederholen zu müssen glaubte; ich erwähne derselben schon deshalb, weil sie zum Theil meinen Erfahrungen widersprechen.

Es war eine früher bereits bekannte Beobachtung, dass bei der künstlichen Erweiterung der Pupille durch das Eintröpfeln narcotischer Flüssigkeiten das Auge weitsichtig wurde. Hueck stellte Versuche über diesen Gegenstand an, und die Resultate derselben thaten es dar, dass die Weitsichtigkeit des Auges keineswegs unmittelbar abhänge von der Erweiterung der Pupille, sondern höchst wahrscheinlich durch eine andere Ursache, die zugleich mit jener Erweiterung hervortritt, hervorgebracht werde, indem die Weitsichtigkeit nicht mit der Erweiterung der Sehe gleichen Schritt hält. Er glaubte das nämlich aus der Entfernung des Grenzpunktes nach der Anwendung narcotischer Substanzen bestimmen zu können. Es rückte der letztere nach den von ihm angestellten Experimenten bei der Erweiterung der Pupille von 0,7‴ bis auf 2,6‴ der grössten Dilatation, welche innerhalb 7 Stunden eintrat, von 4″ 11‴ bis auf 8″ 3‴ von dem Auge ab. Von nun ab verkleinerte sich die Pupille

in Zeit von 4 Stunden um 0,2‴, während die Weitsichtigkeit noch zunahm, so dass der Grenzpunkt 9″ 3‴ entfernt wurde.

Eine andere Reihe von Versuchen, welche Porterfield angestellt, gab analoge Resultate. Das rechte Auge des Beobachters konnte bei 1,8‴ Weite der Pupille, bis in eine Nähe von 4″ 8‴ sehen. Dreiviertel Stunden nach der Anwendung der Belladonna trat eine Erweiterung der Pupille bis auf 2,5‴ ein. Die Sehweite hatte sich nicht verändert, und während der Durchmesser der Pupille in den nächst folgenden 7 Stunden zwischen 2,3‴ und 2,6‴ schwankte, war nach Verlauf von 3 Stunden die Grenze des deutlichen Sehens bis auf 8″ 10‴ fortgerückt und näherte sich dann in den nächsten drei Stunden wieder bis auf 7″ 4‴.

Es geht aus diesen Versuchen hervor, dass die Erweiterung der Pupille früher als eine Veränderung des Sehvermögens eintritt, die letzte also ihre Ursache in der ersten nicht haben könne; und es scheinen ähnliche Beobachtungen gewesen zu sein, welche Brewster zu der Ansicht bestimmten, dass nach der Anwendung der Belladonna nicht die Iris allein, sondern ausser ihr noch ein anderes Organ afficirt werden müsse.

Nach Bartels (Beiträge zur Physologie des Gesichtssinnes) wird, wenn man bei Kurzsichtigen die Pupille künstlich erweitert, bei dem allmähligen Abrücken des Grenzpunktes die Kurzsichtigkeit keinesweges verringert, im Gegentheil werden Gegen-

stände, welche über eine bestimmte Entfernung hinausliegen, ganz in derselben Art mit verwaschenen Umrissen gesehen, wie früher. Hueck fand diese Beobachtung an seinem eigenen Auge bestätigt. In Bezug auf die krankhafte Erweiterung der Pupille meines Auges hat sie sich auch bei mir verificirt; ich bin nicht mehr im Stande, einen Gegenstand beim genauen Betrachten dem Auge so nahe zu bringen, als früher; in einer Entfernung, die geringer ist als 6 Zolle, fangen mir die Bilder an undeutlich zu werden; meine Kurzsichtigkeit aber besteht unverändert gegen früher fort.

Die Beobachtungen von Porterfield und Hueck lassen in so fern eine genauere Bestimmung zu wünschen übrig, als man aus denselben nicht genau entnehmen kann, ob die Bestimmung der Pupillenweite und der Entfernung des Grenzpunktes stets unter denselben äussern Verhältnissen, namentlich bei derselben Intensität des aufs Auge einwirkenden Lichtes, gemacht sind; es scheint vielmehr die Lichtstärke nicht immer dieselbe gewesen zu sein, wenigstens lässt sich nicht anders das nicht unbedeutende Schwanken der Pupillenweite in der Reihe der Beobachtungen erklären. Ueberhaupt gestattet die Entfernung des Grenzpunktes in Huecks Sinne durchaus keinen Schluss auf den Refraktionszustand des Auges, wie ich weiter unten noch näher und mit Evidenz zu beweisen gedenke, da unstreitig jenseits desselben schon Zerstreuungs-Kreise auf der Netzhaut sich bilden.

Ich glaubte also den Scheinerschen Versuch benutzen zu müssen, um über das Eintreten von Ver-

anderungen im Refraktionszustande des Auges bei Veränderungen in der Pupillenweite Gewissheit zu erlangen, indem ich die Entfernungen mass, um die das Objekt vom Auge abgerückt werden musste, wenn zuerst einfach gesehen werden sollte.

Um im Verlauf mehrerer Stunden, während welcher die Untersuchungen ununterbrochen fortgesetzt wurden, ein gleichmässiges Licht zu erhalten, wählte ich die Zeit des Abends zu den Beobachtungen. Die Beleuchtung des Zimmers geschah durch eine Astral-Lampe, deren Licht in einem 10 Fuss von ihr entfernten Spiegel aufgefangen wurde, während die Lampe selbst durch einen grossen Schirm verdeckt war, um nicht unmittelbar auf die der Beobachtung unterworfenen Augen einwirken zu können. Das Spiegelbild der mit einem Milchglasschirme versehenen Lampe diente als lichter Hintergrund, auf dem die Doppelbilder betrachtet wurden. Die Beobachtung wurde bei den vollkommen normal gebildeten Augen der Herren Doctoren Reinke und Schieferdecker angestellt.

Nachdem die beiden genannten Herren sich etwa eine Stunde in dem Zimmer aufgehalten hatten, wurde die derzeitige Focal-Distanz ihres Auges und die Weite ihrer Pupille bestimmt. Bei Herrn Dr. Reinke musste bei einer Weite der Pupille von $2\frac{1}{8}'''$ das Objekt 19″ vom Auge entfernt werden, um einfach zu erscheinen und dieser Brechungszustand der Medien des Auges blieb unverändert bis zu der Zeit, dass die Belladonna-Auflösung eingetropft wurde. Herr Dr. Schieferdecker behielt

bei einer Weite der Pupille von $1\frac{6}{8}'''$ unverändert eine Focal-Distanz von 22 Zoll bis zu dem Augenblick, da die Belladonna zur Anwendung kam. Es geschah dies bei beiden Herren um 9 Uhr 30 Minuten, die Veränderungen, welche in der Focal-Distanz und in der Weite der Pupille in den von dieser Zeit an gemachten Beobachtungen sich ergaben, ersieht man aus nachstehender Tabelle:

Auge des Herrn Dr. Reinke.

Zeit der Beobachtung.	Grösse der Pupille.	Focal-Distanz des Auges
9 Uhr 25 M. .	2,12''' . . .	19''
10 Uhr . . .	3'''	29''
10 Uhr 30 M. .	3,25''' . . .	36,5''
11 Uhr 10 M. .	3,62''' . . .	39,5''
12 Uhr . . .	4,12''' . . .	46,5''
1 Uhr . . .	3,35''' . . .	39''

Auge des Herrn Dr. Schieferdecker.

Zeit der Beobachtung.	Grösse der Pupille.	Focal-Distanz des Auges
9 Uhr 30 M. .	1,75''' . . .	22''
10 Uhr 5 M. . .	2,25''' . . .	23,5''
10 Uhr 15 M. .	2,62''' . . .	31''
10 Uhr 25 M. .	3'''	34''
11 Uhr 15 M. .	3,35''' . . .	46,75''
12 Uhr 5 M. .	3,5'''	49''
1 Uhr 5 M. .	2,75''' . . .	43,25''

Es lehren diese Beobachtungen, dass in den ersten drei Stunden eine Zunahme der Focal-Distanz zu gleicher Zeit mit einer Erweiterung der Pupille statt fand, und dass ferner, als beim letzten Versuche die Focal-Distanz sich verringert hatte, auch gleichzeitig eine Verkleinerung des Durchmessers der Pupille eingetreten war. Auch stehen die Werthe, welche die Pupillenweite bezeichnen, mit denen, die für die Focal-Distanz gefunden, offenbar in einem einander

entsprechenden Verhältniss, und es würde gewiss möglich sein, dieses Verhältniss in einer Formel darzustellen, wenn eine grössere Anzahl von Beobachtungen vorläge. Leider bin ich des Zustandes meiner Augen wegen verhindert, diese Versuche an mir selbst zu vervollständigen; die Experimente mit den Augen Anderer haben aber die bedeutendsten Schwierigkeiten, indem nicht nur nicht leicht Jemand sich mit ähnlicher Bereitwilligkeit, wie die genannten Herren, zu denselben hergeben würde, sondern auch zum Versuche selbst eine gewisse Uebung und Gewandtheit gehört, die Viele sich nie anzueignen im Stande sind.

Wir entnehmen also, dass Hueck's und Porterfield's Beobachtungen zu unrichtigen Resultaten geführt haben, und zwar weil die Entfernung des Grenzpunktes nicht immer, wie die Versuche ergeben, in einem proportionalen Verhältnisse zu der wirklichen Focal-Distanz des Auges steht. Es ist das auch sehr ersichtlich, da bei verschiedenen Graden der Lichtstärke die Entfernung des Grenzpunktes bei sonst gleichem Brechungsverhältniss des Auges wechseln wird. Die von Porterfield gemachten Beobachtungen sind noch weniger entscheidend, da er zur Bestimmung des Refractions-Zustandes schlechthin nur den Abstand des Punktes wählt, in welchem er am bequemsten lesen konnte.

An der Stelle, wo ich meine Ansicht über das Accommodations-Vermögen des Auges entwickeln werde, gedenke ich noch einmal auf die eben besprochenen

Versuche zurückzukommen, ich will hier nur ein Resultat anticipiren, für welches dort die Beweise geliefert sind. Folgendes nämlich: der Refractions-Zustand der Medien des Auges verändert sich jedesmal gleichzeitig mit einer Veränderung in der Pupillenweite, gleichviel aus welcher Ursache diese auch entstanden sei. Aus der Art des Beweises wird sich zugleich ergeben, dass die veränderte Brechungsfähigkeit der Medien nicht von jenem Schwanken in der Pupillenweite abhänge, sondern beide Erscheinungen vielmehr von einer gemeinsamen Ursache abzuleiten seien.

Wenn nun aber trotz dem gleichzeitigen Auftreten beider Phänomene die Erscheinungen der Accommodation aus der Erweiterung und Verengerung der Pupille allein nicht zu erklären sind, so müssten aus Form und Lagenveränderungen anderer im Innern des Auges gelegener Theile dieselben abzuleiten sein.

Einige Physiologen sind der Meinung, dass die Fähigkeit des Auges nahe und ferne Gegenstände gleich deutlich zu sehen durch eine Formveränderung der Linse und der auf diese Weise hervorgebrachte Modification in dem Brechungsvermögen des Auges bedingt sei. Cartesius scheint zuerst diese Ansicht ausgesprochen zu haben, er hielt das Gewebe der Linse für fibrös, und glaubte dass durch die Zusammenziehung ihrer Fibern die Curve der vordern und hintern Fläche verändert werden könne. Pemberton, Hunter und Camper stimmten ihm bei, und Young bemühete sich nachzuweisen, dass die Blätter der Kry-

stall-Linse wahre Muskeln wären, deren Sehnen am Umfange der Linse sich festsetzen. Auch Wernek hält die Lamellen der Linse für muskulös.

Während nach der genannten Autoren Ansicht die Veränderung in den Curven der Linse durch eine ihr inwohnende Kraft erzeugt würde, sind Hueck und vor ihm schon Jurin und Graefe der Meinung, dass diese Form-Veränderung ihren Grund in dem Druck habe, den der Ciliar-Körper auf den Linsenrand auszuüben im Stande sei. Jurin glaubte, das ruhende Auge sehe 15—16″ weit, beim Sehen in die Ferne werde die Linse durch den Ciliar-Körper abgeflacht, während der muskulöse Ring der Uvea im Stande sei, der Hornhaut beim Sehen in der Nähe eine grössere Convexität zu geben.

v. Graefe stellt das Verhältniss so dar, dass er annimmt, die Ciliar-Körper füllen sich mit Blut bei der Contraktion der Pupille, drücken dabei auf den Rand der Linsen-Capsel, und machen die Linse convexer, wobei sich zugleich der Liquor Morgagni mehr nach vorne dränge. Dilatirt sich dagegen die Pupille, so contrahire sich nach seiner Ansicht der Ciliar-Körper, mache die Linse flacher und veranlasse dadurch zugleich, dass sich die Morgagnische Flüssigkeit mehr nach dem Umfange der Linse hin verbreiten könne.

Hueck hat durch die von Herrn Dr. Senff angestellten Rechnungen gezeigt, dass die Veränderung, welche in den Curven der Linse vor sich gehen müsste, wenn man daraus die Phänomene der Accom-

modation in ihrer ganzen Ausdehnung erklären wollte, nach seiner Ansicht nur sehr geringe sein dürfte.

Nähme man nämlich an, dass die Linse sich um ⅛ ihres Durchmessers zusammen pressen liesse, was auf jeder Seite ¼ Linie betragen würde, so könnte auf diese Weise die Brechungsfähigkeit des Auges sich so modificiren, dass wechselsweise Lichtstrahlen, die aus einer Entfernung von 5 Zollen, und solche, die aus der Unendlichkeit kämen, in ihrer Vereinigung auf der Netzhaut sich träfen; es musste aber die seitliche Congession der Linse natürlich so von Statten gehen, dass dabei die ganze Masse, welche sie bildet, gleichmässig zu einem Körper sich umwandelte, dessen Fläche nach anderen correspondirenden Radien gekrümmt ist. Dabei würde die Axe der Linse sich um ¼ vergrössern, eine Umänderung, die nicht so unbedeutend ist als sie scheint, da alsdann die vordere Fläche der Linse eine halbe Linie wieder nach vorn treten müsste.

Ich glaube mich bei der Würdigung dieser Ansichten nicht lange aufhalten zu dürfen, da dieselben schon anderweitig vielfach widerlegt sind. Die Gründe, welche gegen dieselben hauptsächlich sprechen, sind aus der Consistenz dieses Organs, aus seiner chemischen Beschaffenheit und namentlich aus seinem anatomischen Verhalten zu entnehmen. Die Consistenz zeigt, dass die Linse weder selbstständige Contractionen machen, noch auch vermöge ihrer Elasticität auf äusseren Druck regelmässige Zusammenziehungen zu erleiden fähig sei, indem sie selbst frisch aus dem

Auge eines lebenden Thieres entfernt, zwar auf den leisesten Druck ihre Form verändert, aber dabei so geringe Elasticität besitzt, dass diese Formveränderung sich durchaus nicht wieder ausgleicht. In Bezug auf das chemische Verhalten giebt es keinen Theil im Körper, der bei festweicher Consistenz einen so geringen procentlichen Gehalt an fester Materie besässe, und in Bezug auf ihre Structur haben die Untersuchungen von Schwann es gezeigt, wie die Linse durchaus keine Aehnlichkeit mit allen übrigen contractilen Organen des thierischen Organismus habe.

Wir besitzen Beobachtungen, nach welchen, wie es scheint, das Accommodations-Vermögen des Auges auch in Fällen erhalten blieb, wo nach der Extraction des grauen Staars die Linse gänzlich fehlte; wären dieselben zuverlässig, so würde allerdings dadurch entscheidend bewiesen sein, dass man in der Linse überhaupt nicht den Grund der Adaptionsfähigkeit des Auges zu suchen hätte, wenn man nicht zu der fabelhaften Annahme sich entschliessen wollte: das ganze Organ könne so vollkommen sich regeneriren, dass das neu entstandene alle Functionen des verloren gegangenen zu ersetzen im Stande ist. Es sind aber diese Beobachtungen durchaus nicht constatirt, nicht etwa weil sie auf absichtlicher Täuschung beruhen, sondern weil die Beobachter den Begriff der vorhandenen und gestörten Accommodation nicht gehörig festgestellt. Es kann ein Auge die Fähigkeit besitzen, eine vorgehaltene Schrift und einen fern liegenden Gegenstand zu erkennen, während ihm

doch die Adaptionsfähigkeit gänzlich mangelt; (ein solches Auge ist z. B. das meinige) und soviel ich weiss, besitzen wir nur eine Beobachtung von Maunoir, nach welcher ein operirtes Auge eine ähnliche Fähigkeit besessen. Ausserdem haben die Untersuchungen, welche mit mehr Bestimmtheit und Umsicht über den fraglichen Gegenstand angestellt sind, namentlich die von Volkmann und Young, welcher Letzterer bei Staar-Operirten mittelst des Porterfieldschen Optometers den Punkt des deutlichen Sehens unverändert fand, immer eine fehlende Accommodationsfähigkeit nachgewiesen.

Da die Phänomene der Anpassungsfähigkeit des Auges sich weder aus einer Formveränderung des Bulbus noch aus dem Wechsel in der Grösse der Pupille, noch endlich aus der Veränderung der Curven, nach welchen die Linsenflächen gebogen sind, erklären lassen, so bleibt endlich nur noch die Möglichkeit übrig, dass die Linse selbst ihre Lage in dem Augapfel verändern könne, um den Refractions-Zustand der brechenden Medien den verschiedenen Entfernungen der Objekte anzupassen.

Die Art, wie die Linse an den Strahlen-Körper angeheftet ist, und die organische Beschaffenheit dieses letztern selbst, hat schon früher auf die Ansicht geführt, dass das Corpus ciliare zur Bewegung der Linse bestimmt sei. Aeltere Autoritäten haben geglaubt, dass seine Wirkung gleichzeitig eine Umwandlung in der Gestalt des Augapfels herbeiführe, und dass eben auf diese Weise die Linse von der Netzhaut entfernt werde.

So nennt Kepler das Corpus ciliare in Bezug auf seine Bewegung das Zwergfell des Auges, und meint, dass es durch seine Contraction das letztere elliptisch mache, und so die Linse von der Netzhaut vordrücke.

Ganz ähnlicher Ansicht sind Sturm, Scheiner und Conradi. Cartesius, der, wie wir gesehen haben, vorzugsweise die Formveränderung der Linse vertheidigt, ist zugleich der Meinung, dass der Ciliar-Körper zur Bewegung der Linse selbst etwas beitragen könnte, indem er einen Druck auf den Glaskörper ausübe; und Porterfield hielt den Ciliar-Körper geradezu für einen Muskel, durch dessen Anspannung die Linse beim Nahesehen vorgezogen würde, während er beim Sehen in der Ferne erschlaffe, und die Linse zurücksinken lasse.

Zinn war der erste, welcher nicht auf eine muskulöse Thätigkeit im Ciliar-Körper die Bewegung der Linse schob, sondern sie aus der abwechselnden Turgescenz und Entleerung seiner Gefässe zu erklären suchte. Rudolphi, der seiner Ansicht beipflichtet, macht zugleich auf die mit dem Nah- und Fern-Sehen gleichzeitig verbundenen Contraction und Dilatation der Pupille aufmerksam.

Am vollständigsten hat J. Mueller die Gründe auseinander gesetzt, welche für die Bewegung der Linse durch den Ciliar-Körper sprechen. Es sind das folgende:

1) Die Veränderung der Weite in der Pupille fällt mit der Veränderung im Refractionszustande des Auges zusammen, so dass selbst wenn

2) durch Einträufeln von Belladonna dieselbe künstlich erweitert wird, eine Umwandlung ja selbst eine Lähmung im Refractionszustande eintritt.

3) Der Gefässbau ist in Iris- und Ciliar-Körper derselbe, die arteriae ciliares porticae geben Zweige an die Iris, wie die Gefässe der Iris mit den ersten anastomisiren.

4) Die Ciliarnerven scheinen auf gleiche Weise für den Ciliar-Körper als für die Iris bestimmt, und beide sind gleich reich mit Nerven ausgestattet.

5) Die Turgescenz und der Collapsus des Ciliar-Körpers kann eine Dislocation der Linse bewirken, so wie durch Zupfen an dem Ciliar-Bande in einem Auge, das von vorn vorsichtig geöffnet ist, dieselbe aus ihrer Lage gerückt werden kann.

6) In der Thierreihe verschwinden die Ciliar-Fortsätze erst da, wo die Iris sich gegen äussere Reize nicht mehr contrahirt.

7) Bildungsfehler, z. B. Zurückbleiben der in der Bildungsperiode ephemeren Spaltung der Iris erstrecken sich auch immer auf den Ciliar-Körper.

Rechne man hiezu noch, dass Hueck das Vorrücken der Linse beim Sehen in der Nähe gesehen, und selbst gemessen haben will. Wenn nach ihm Jemand, der ein gutes Auge besitzt, sich an ein Fenster stellt und abwechselnd einen im Glase des Fensters etwa 5 Zoll abstehenden und einen in derselben Richtung in der Augenaxe gelegenen sehr entfernten Punkt fixirt, so soll ein zur Seite stehen-

der Beobachter, der die Iris und Hornhaut also im Profil sieht, deutlich es wahrnehmen, dass beim Sehen in der Nähe die Iris durch das Andringen der Linse von hinten her in die vordere Augenkammer convex hineingebogen werde. Dieses Vortreten der Iris ist so bedeutend, dass es in den günstigsten Fällen mit einem Glasmikrometer gemessen 0,5‴ betrug, und sowohl bei Myopischen als bei Presbyopischen, bei den letzten aber in viel geringerem Grade wahrgenommen werden konnte.

Es scheint dieser Versuch, wenn er sich bestätigt, entscheidend und allerdings ist es mir zu verschiedenen Malen geglückt, ihn in seiner ganzen Ausdehnung zu wiederholen, so dass ich mich von der Bewegung der Linse auf's entschiedenste überzeugt zu haben glaube.

Auch an Thieren lässt sich das Hervorwölben der Iris in die Höhle der vorderen Augenkammer wahrnehmen, nach Olbers soll es Bidlov schon an einem Vogel bemerkt haben. Hueck hat an Falken, Hunden und Katzen interessante Versuche darüber angestellt, nach denen er sich auch bei diesen Thieren über das Vor- und Zurücktreten der Linse im Auge vergewissert hat.

Wenn Hueck aber behauptet, dass er auch an Augen junger frisch getödteter Hunde die Resultate dieser Beobachtung bestätigt gefunden, indem er auf der durchsichtigen Sclerotica derselben, nachdem das Auge in eine passende Oeffnung eines Brettes gestellt war, die Bilder entfernter Gegenstände scharf

begrenzt, näherer aber mit verwaschenen Umrissen wahrnahm, und nun durch Vordrücken der Linse vermittelst einer in die Höhle des Auges gebrachte Staarnadel abwechselnd wieder die nahen Objekte scharf begrenzt, und die entfernten verwaschenen sich abbilden sah, so gestehe ich in Bezug auf diesen Versuch weit weniger glücklich gewesen zu sein, und erlaube mir sogar, da ich denselben mit der grössten Vorsicht angestellt, Zweifel gegen die Richtigkeit der Beobachtung auszusprechen.

Ich bediente mich bei den Versuchen nach Volkmanns Vorschlag frischer Augen von weissen Kaninchen, konnte mich aber niemals, so hell erleuchtet und so scharf begrenzt das von dem Auge aufgefangene Objekt war, von der vorhandenen oder mangelnden Schärfe des Bildes auf der noch so durchsichtigen Sclerotica überzeugen, da dasselbe jedesmal eine zu geringe Lichtintensität besass. Selbst wenn ich vor die Pupille, die hier sehr gross ist, ein mit zwei möglichst weit von einander abstehenden Oeffnungen versehenes Kartenblatt brachte, trat die Erscheinung des Doppelbildes als das sicherste Zeichen vorhandener Zerstreuungskreise nur dann vollkommen deutlich auf, wenn das abgebildete Objekt sich sehr nahe am Auge, etwa wenige Zolle von demselben entfernt, befand. Nur in einigen Fällen glaubte ich gleichfalls ein Doppelbild bemerken zu können, wenn der dargestellte Gegenstand weit entfernt lag.

Um ein recht scharf begrenztes und lichtreiches Objekt zur Beobachtung zu bringen, wählte ich ein

in Pappe geschnittenes und mit ölgetränktem Papier bedecktes Kreuz, hinter welchem ein Lichtbrannte, und dessen Bild ich in dem Auge sich darstellen liess. Nur von der einen Thatsache konnte ich mich aufs entscheidendste überzeugen, dass nämlich die Entstehung von Doppelbildern merklich auch dann schon sich äusserte, wenn die Beobachtung der Netzhautbilder, selbst mittelst einer passenden Linse keine Unbestimmtheit in den Umrissen derselben zeigte.

Wenn nun aus dem Angeführten eine Dislocation der Linse, behufs der Refractions-Veränderungen des Auges wahrscheinlich ist, so käme es zunächst darauf an, diejenigen Gründe näher zu betrachten, welche man gegen die Möglichkeit derselben vorgebracht hat.

Olbers macht folgende Einwände:

Zuerst zeigt er durch Rechnung, dass die Veränderungen im Refractions-Zustande des Auges, welche durch Verschiebung der Linse hervorgebracht werden könnten, nicht ausreichend seien, um die Erscheinungen der Adaption in ihrer ganzen Ausdehnung zu erklären. Es lässt sich hingegen erwidern, dass wenn allerdings das vollkommen richtig wäre, wie es denn auch nach meiner Ansicht unzweifelhaft ist, dadurch noch keinesweges die Unmöglichkeit der Verschiebung der Linse überhaupt von der Hand gewiesen sei, und durch dieselbe jedenfalls ein bestimmter Grad von Veränderung in der Brechung der Medien des Auges erzeugt werden müsse. Ich werde sehr bald Gelegenheit nehmen, diesen Punkt ausführlicher zu besprechen.

Wenn demnächst Olbers bemerkt, dass der Ciliar-Körper keine muskulöse Structur habe, so lässt sich dem die unbestreitbare Behauptung entgegensetzen, dass jedenfalls sein Gefüge dem der Iris vollkommen analog sei, und dass seine Bewegungen, wenn sie auch immerhin nicht von Muskel-Contractionen abhingen, auf dieselbe Weise wie bei der Iris zu Stande kommen können.

Die Unhaltbarkeit des dritten Einwands von Olbers: dass nämlich die lose Anheftung des Ciliar-Körpers der Möglichkeit einer Bewegung der Linse durch ihn widerspräche, wird durch die Untersuchung frischer Augen dargethan, und was endlich den vierten Einwurf betrifft, nach welchem bei einigen Thieren der Ciliar-Körper sich gar nicht an die Linse, sondern nur an die Iris anfügen solle, so beruht derselbe erwiesen auf einem Irrthum.

Volkmann glaubt aus folgender Deduction die Unrichtigkeit einer jeden Hypothese darzuthun, welche eine Dislocation der Linse postulirt.

Wenn, sagt er, zwei leuchtende Punkte a und c Fig. XXII in der Achse der Linse K liegen, so stellt sich das Bild des näherliegenden in u dar, während sich das entferntere, dessen Strahlen durch den von a ausgehenden Lichtkegel abgefangen werden, gar nicht abbildet. Liegen nun auf eben dieselbe Weise b und d, so dass d durch b gedeckt wird, in t sich also nur das Bild von b darstellt, so wird, wenn die Linse weiter vorrückt in u allerdings das Bild von c durch das Bild a gedeckt werden, anders aber muss

es sich in Bezug auf b und d verhalten. Es würden die Richtungen des Achsenstrahles von b und d durch die Mitte der Linse C hindurch gehen, und Bilder in r und s sich gesondert darstellen.

Nähme man nun also an, dass beim Zustandekommen der Accommodation des Auges die Linse vor und zurückrücken könne, so würde daraus folgen, dass Bilder, die durch indirektes Sehen zur Wahrnehmung gebracht, bei einem bestimmten Refractions-Zustande sich deckten, einander zu decken aufhören müssten, sobald sich die Focal-Distanz des Auges veränderte. Dass dem aber nicht so sei, will Volkmann durch einen Versuch erwiesen haben, aus dem er das Gesetz entnimmt, dass auch bei der Einrichtung des Auges für verschiedene Sehweiten der Drehpunkt seine Stellung beibehalte.

Gesetzt es wären a b c d (Fig. XXIII) so aufgestellte Haarvisire, dass die beiden nähern c d die entfernteren a b in dem beobachtenden Auge deckten, so bleibt nach Volkmann dieses wechselseitige Decken unveränderlich, gleichviel ob man das Auge für die nahen oder für die entfernteren Visire oder endlich für unendliche Entfernung adaptirt.

Eine Anmerkung, die zu diesem Versuche beigedruckt ist, giebt einigen Aufschluss über die Art, wie Volkmann ihn angestellt wissen will. Es heisst daselbst:

„Da die Visire bei Accommodation des Auges „für ein sehr Fernes Zerstreuungskreise bilden, „welche das Urtheil über die Deckung unsicher

„machen, so muss man durch ein kleines Loch,
„am besten durch Staniol gestochen, sehen, bei
„welcher Vorsichtsmassregel die Haarvisire hin-
„reichend scharf und deutlich erscheinen."

Durch die Weisung zeigt Volkmann aufs deutlichste, wie wenig Vertrauen das Resultat seines Versuchs verdient. Es könnte die Art, wie er verfuhr, eine doppelte gewesen sein:

Schob er vor dem Auge das mit der feinen Oeffnung versehene Staniolblättchen hin und her, um abwechselnd das eine und das andere Paar der Visire zu sehen, so war dabei ein Vorrücken der Augenachse unvermeidlich, und der Versuch also auf diese Weise durchaus nicht entscheidend. Gesetzt aber auch, er hielt die Oeffnung so nahe vor die Cornea und die Mitte der Pupille, dass er zu gleicher Zeit beide Paare der Visire übersehen konnte, so ist es klar, dass von dem mit direktem Sehen betrachteten Paare der Achsenstrahl allerdings ins Auge gelangt, von dem andern aber nur ein sehr kleines Lichtbüschel aus dem Rande des gesammten Strahlenkegels, der ins Auge gelangen würde, wenn die mit der feinen Oeffnung versehene Blende nicht vor demselben angebracht wäre, dessen Richtung aber durchaus nicht die Richtung des gesammten Strahlenkegels gleich gestellt werden kann, und von dem alle jene Deductionen, welche ich oben pag. 68. ff. über Richtungslinien bei indirektem Sehen gegeben habe, noch in einem weit höhern Grade gelten werden.

Es wäre also schon in dieser Hinsicht der Versuch durchaus nicht mit so vollständiger Genauigkeit

angestellt, dass es erlaubt sein könnte, einen Schluss aus dem Resultate desselben zu ziehen. Abgesehen aber davon muss ich erinnern, dass demselben der Lehrsatz zu Grunde liegt: der Drehpunkt des Auges sei mit dem Kreuzungspunkte der Sehstrahlen identisch, ein Lehrsatz, den Volkmann freilich bewiesen zu haben glaubt, dessen ausführliche Widerlegung aber bereits oben gegeben ist.

Die Einwendungen, welche Ritter in seinen Physiologischen Betrachtungen der Sinnesorgane gegen Graefe's Ansicht aufstellt, beziehen sich mehr auf die Fähigkeit des Ciliar-Körpers, die Linse seitlich zu comprimiren; in wie fern seine Ansicht über die gleiche Deutlichkeit der Bilder von nahen und entfernten Gegenständen im Auge frisch getödteter Thiere unrichtig sei, haben wir bereits früher gesehen.

Wäre demnächst ein Vor- und Zurückweichen der Linse beim Sehen in der Nähe und in der Entfernung durch die Beobachtung nachgewiesen, und derzeit aus theoretischen Gründen noch nicht widerlegt, so fragt es sich nur noch, ob das Phänomen der Adaption in seiner ganzen Ausdehnung durch eine solche Lagenveränderung der Linse erklärt werden kann oder nicht, d. h. ob eine Dislocation der Linse, so weit sie denkbar ist, die Brechung der Augenflüssigkeit um so viel verändern könne, dass abwechselnd unendlich entfernte und sehr nahe Gegenstände ihr Bild in der Fläche der Netzhaut darstellen. Werfen wir, um hierüber Gewissheit zu erlangen, einen Blick auf die Berechnungen von Senff über

diesen Gegenstand, deren schon öfters Erwähnung geschehen.

Es ist bekanntlich die Entfernung des Vereinigungspunktes der gebrochenen Strahlen

$$x = \frac{y}{\frac{n}{n'} + \frac{n' - n}{n\,r}\,y}$$

in welchem Ausdrucke n und n′ die Brechungs-Conficienten der Medien sind, aus denen die Strahlen kommen und in die sie gehen; r der Krümmungshalbmesser der brechenden Fläche, der die Medien von einander trennt, y die Entfernung des Vereinigungspunktes der einfallenden Strahlen von der Fläche.

Durch die wiederholte Anwendung dieser Formel auf die einzelnen Flächen der brechenden Medien des Auges erhält man für die Entfernung des Vereinigungspunktes der Strahlen von der vordern Fläche der Hornhaut den Ausdruck

$$\frac{5{,}1218\,l + 10{,}4022 - (0{,}32264\,l - 4{,}4385)\,d}{0{,}50911\,l - 4{,}2695 - (0{,}01091\,l - 0{,}15008)\,d} + 2{,}4 + d$$

in welcher Formel d der Abstand der vordern Fläche der Linse von der hintern Fläche der Hornhaut l die Entfernung des Objekts von der vordern Fläche der Hornhaut bedeutet. Der in der Formel vorkommende Bruch giebt die Entfernung des Vereinigungspunktes der Strahlen von der hinteren Fläche der Linse.

Da nun Senff annimmt, dass bei dem ruhenden Auge Strahlen aus unendlicher Entfernung gerade auf der Netzhaut ihren Vereinigungspunkt finden, so muss nach ihm $l = \infty$ sein, wenn d, wie es in dem

Auge gefunden wird = 1,2‴ ist. Lässt man nun d sich verringern bis auf o, d. h. nimmt man an, dass beim Sehen in der Nähe die vordere Fläche der Linse bis zur hintern Fläche der Hornhaut herantreten könnte, was doch unter keinen Umständen möglich ist, so würde dennoch dadurch nur eine Adaption bis auf die Entfernung 161‴ oder 13½″ bewerkstelligt werden.

Die als möglich denkbare Verschiebung der Linse ist also nicht ausreichend, eine solche Veränderung in der Brechung der Medien des Auges hervorzubringen, dass die Accommodation im gewöhnlichen Sinne dadurch erklärt werden kann, und es liesse sich als Resultat der vorangeschickten Untersuchungen nur so viel feststellen, dass allerdings eine Bewegung der Krystall-Linse in der Höhle des Auges wahrscheinlicher Weise stattfinde, dass aber diese Bewegung nicht ausreiche, um die Focal-Distanz des Auges so zu modificiren, dass abwechselnd ein 4 Zoll vom Auge entferntes und ein in der Unendlichkeit gelegenes Objekt mit scharf begränzten Umrissen auf der Netzhaut sich darstellen könne.

Nachdem ich in den vorangeschickten Untersuchungen eine möglichst vollständige Widerlegung der verschiedenen Ansichten über das Anpassungsvermögen des Auges gegeben, sei es mir nun schliesslich noch erlaubt, das, was sich mir über den in Rede stehenden Gegenstand durch Versuche und Beobachtung herausstellte, vorzuführen und einer genauern Prüfung zu unterwerfen.

Zuvörderst glaube ich, dass es eine Adaption in dem gewöhnlichen Sinne nicht gebe, und dass sich

nicht jedes Bild, welches wir vollkommen scharf begrenzt zu sehen glauben, deshalb auch ohne alle Zerstreuungskreise auf der Netzhaut abbilden dürfe.

Es ist mir keineswegs unbekannt, dass vielfach früher und selbst in der neusten Zeit die Accommodations-Fähigkeit des Auges ganz geleugnet worden, ich will deshalb im Voraus darauf aufmerksam machen, dass dies meine Ansicht nicht sei, dieselbe vielmehr nichts mit den Annahmen jener Autoren gemein habe. Wenn del Aqua behauptet, dass sich das Auge wie ein Hohlspiegel verhalte, die Lichtstrahlen von der Netzhaut nach irgend einem Punkte in der Höhle des Augapfels hin reflectire, und auf diese Weise es zu erklären sei, dass wir die Bilder im Auge nicht verkehrt sehen; eine Ansicht die Herr Kneschcke für sehr plausibel hält und gern als die seinige vindiciren würde, wenn ihm nicht del Aqua mit der Veröffentlichung derselben zuvorgekommen wäre; — wenn eben so Meyer und Plagge das Auge für einen Hohlspiegel halten und annehmen, dass das Bild durch die Strahlen empfunden werde, welche von demselben ausgehen, wenn ferner Horn und Lehot glauben, das Bild entstände in der Höhle des Glaskörpers, und wenn Andere endlich wie Rumbatt das in Rede stehende Problem gar nicht anerkennen und der Meinung sind, dass sich die Lichtstrahlen von jedem Punkte im Raum auf der Fläche der Netzhaut vereinigen müssten; so sind das freilich Ansichten, die nach den dermaligen über den in Rede stehenden Punkt vorliegenden Untersuchungen eben so fabel-

haft als unverständlich erscheinen. Was ich in den nachfolgenden Auseinandersetzungen zu erweisen gedenke, ist nur der Satz, dass die Netzhaut für Zerstreuungskreise von einer bestimmten Kleinheit unempfänglich sei, und dass gerade bei den sogenannten Normal-Augen von Objekten die in der Entfernung des deutlichsten Sehens betrachtet werden, sich Zerstreuungskreise auf der Retina darstellen.

Es ist eine der ältesten Beobachtungen, dass man beim Sehen durch kleine Oeffnungen die unmittelbar vor die Pupille gehalten werden, sowohl den Fehler der Weitsichtigkeit als auch den der Kurzsichtigkeit aufzuheben im Stande sei. Es verliert dabei das Objekt nur an Licht. Kurzsichtige lesen bei dieser Art das Auge zu bewaffnen noch in einer Entfernung, in der sie mit blossem Auge die Zeilen nicht mehr unterscheiden und zählen können, und in einer Entfernung von 1—1½ Zollen in der einem gewöhnlichen Auge die Umrisse vorgehaltener Gegenstände schon mit breiten Schattenrändern erscheinen, sieht selbst ein Weitsichtiger noch mit möglichster Deutlichkeit, wenn die Oeffnung nur klein genug gemacht ist.

Man hat, um dieses Phänomen zu erklären, angenommen, dass nach den Gesetzen der Diffraction die Strahlen, welche an den so überaus nahe an einander liegenden Rändern der Oeffnung vorbei gingen, in ihrem Gange abgelenkt werden, und sich mehr dem Parallelismus nähern, und Mile will, auf diese Annahme gestützt, aus der Verengerung und Erwei-

terung der Pupille das Accommodations-Vermögen des Auges erklären. Jedenfalls aber würde man bei dieser Erklärungsweise nur die Erscheinung zu deuten im Stande sein, dass Kurzsichtige durch feine Oeffnungen besser sehen, der Fehler des weitsichtigen Auges würde dabei nur noch erhöht werden.

Der Hergang wird aufs einfachste aufgehellt, wenn man sich die mathematische Construction desselben vergegenwärtigt.

Es sei Fig. XXIV PL die Pupille RN die Retina. Ist das Auge nun kurzsichtig, so wird die Vereinigung aller Strahlen, die von a ausgehend durch die Pupille hindurch gelassen werden, schon in c vor der Netzhaut statt finden, und auf dieser in Stelle eines Punktes sich eine Zerstreuungs-Scheibe abbilden, deren Durchmesser gleich P′L′ ist. Es folgt nun wie leicht ersichtlich, dass, je mehr sich die Pupille contrahirt, um so schmäler der Strahlenkegel, um so kleiner die Scheitelwinkel bei c und um so kleiner auch die Zerstreuungsscheibe auf der Netzhaut sein werde. Wird nun durch eine vorgehaltene Blende mit sehr kleiner Oeffnung die Verengerung der Pupille noch um ein Bedeutendes erhöht, so werden die Zerstreuungsscheiben auf der Netzhaut zwar nicht ganz verschwinden, so klein aber wenigstens werden, dass sie sich unserm Gefühle entziehen. Welcher Art die Construction für das weitsichtige Auge sei, lässt sich leicht abnehmen; sie ist zu einfach, als dass ich sie hier noch vorführen sollte.

Wenn es nichts desto weniger scheint, als ob Gegenstände, die durch feine Löcher gesehen werden, nicht vollständig so scharf begrenzt zur Wahrnehmung kommen, als diejenigen, welche man mit blossem Auge in der Entfernung des deutlichen Sehens erblickt, so hat das einen doppelten Grund; denn einerseits mag diese scheinbare Undeutlichkeit in der geringen Beleuchtung des Gegenstandes liegen, andererseits hängt sie entschieden von der Ablenkung ab, welche die, durch die feine Oeffnung hindurchgehenden Lichtstrahlen nothwendig erleiden müssen. Dass dem wirklich so sei, zeigt der Umstand, dass jene wahrgenommene Undeutlichkeit wächst, wenn das Loch einen bestimmten Grad der Kleinheit überschreitet. Es muss nämlich eine um so grössere Menge der gesammten durch dasselbe hindurchgehenden Lichtstrahlen abgelenkt werden, je kleiner die Oeffnung ist, während eigentlich doch mit der Kleinheit des Loches die Grösse des Zerstreuungskreises auf der Netzhaut abnehmen müsste.

Für die Richtigkeit dieser Annahme spricht ausserdem noch der Umstand, dass bei dem Sehen durch feine Oeffnungen, die Deutlichkeit der Gegenstände immer gleich ist, in welcher Entfernung sie auch liegen mögen, und dass namentlich auch die in der Entfernung des deutlichsten Sehens betrachteten Körper eben so schattige Umrisse zeigen, als selbst solche, die diesseits des Grenzpunktes sich befinden.

Hueck führt Versuche an, nach welchen das Sehen durch kleine Oeffnungen andere Resultate geben soll.

So behauptet er, dass das Anpassungs-Vermögen seines Auges in Bezug auf die Nähe des Grenzpunktes gleich bliebe, gleichviel, ob er durch eine kleine Oeffnung sah oder nicht. Er folgert das daraus, dass er die feinern Theile eines Objektes z. B. die Härchen des Fliegenfusses, in beiden Fällen nur bis auf eine Entfernung von 4 Zoll erkennen konnte. Ich muss gestehen, durch mehrfache Versuche das Gegentheil dieser Beobachtung bestätigt gefunden zu haben. Abgesehen davon, dass meinem Auge, welchem absolut jede Anpassungsfähigkeit mangelt, Gegenstände, die in eine solche Nähe vor dasselbe gebracht sind, dass ich keinen Schimmer von ihnen mehr wahrnehme, bei der Betrachtung durch eine kleine Oeffnung noch eben so scharf begrenzt erscheinen, als solche, die in der Entfernung meiner deutlichen Sehweite liegen; habe ich mich bei vollkommen gesunden Augen davon überzeugen können, dass der Grenzpunkt beim Sehen durch kleine Oeffnungen dem Auge näher gebracht wird, und diesseits desselben gelegene Gegenstände nicht undeutlicher gesehen werden als solche, die in der Brennweite des Auges stehen. Dass auch in Bezug hierauf eine Grenze statt finden müsse, liesse sich von vorn herein als wahrscheinlich annehmen, und kann auch durch die Construction erwiesen werden. Die Figur lehrt nämlich, dass, je näher der Punkt a dem Auge rückt, seine Strahlen um so stärker divergirend gegen die Oeffnung kommen, und um so weiter hinter der Netzhaut ihre Vereinigung erst statt finden könne, so dass also bei einer bestimmten Nähe der hier gebildete Zerstreu-

ungskreis nicht blos die Grösse der Oeffnung in der Blende haben, sondern diese sogar durch die am Rande der Oeffnung stattfindende Strahlen-Ablenkung noch übertreffen werde. Es versteht sich also von selbst, dass dieselben vom Auge früher oder später gefühlt werden müssen. Beim Sehen in die Ferne kann ein ähnliches Verhältniss nicht eintreten, weil hier die Divergenz der in das Auge gelangenden Lichtstrahlen so sehr gering ist, dass sie von einem bestimmten Abstande aus bis ins Unendliche hin als parallel angenommen werden dürfen.

Hueck sowohl als Johannes Müller sind der Ansicht, dass beim Sehen durch kleine Oeffnungen die Gegenstände nur dann den grösstmöglichsten Grad von Deutlichkeit erlangen, wenn das Auge auch für die Entfernung, in der sie gelegen sind, adaptirt ist; ein für fernere Gegenstände eingerichtetes Auge also die näher liegenden undeutlich sieht, während diese Undeutlichkeit aber schwindet, so wie das Auge sich auf den nahen Gegenstand hinrichtet. Auch in Bezug auf diesen Versuch gestehe ich, nicht glücklicher gewesen zu sein; dass allerdings ein Gegenstand, auf den wir unsere Aufmerksamkeit nicht richten, selbst dann mit geringerer Schärfe zur Perception des Auges komme, wenn sein Bild auf dem gelben Fleck sich darstellt, ist leicht ersichtlich; es hängt aber diese geringere Schärfe nicht von der Undeutlichkeit der Umrisse, sondern nur von unserer mangelnden Aufmerksamkeit ab. Ich bin weit entfernt, hiemit der Ansicht derer das Wort reden zu wollen, welche

alle Adaption nur in der, nach dem einen oder dem andern Punkte im Raume hingerichteten Aufmerksamkeit begründet erachten, ich halte mich nur überzeugt, dass alle oben für die vorhandene Accommodations-Fähigkeit des Auges angestellten Versuche sich nicht mehr anstellen lassen, sobald man das Auge vorher mit einer feinen Oeffnung bewaffnet hat.

Somit glaube ich also vorläufig den oben angeführten Satz bewiesen zu haben, dass nämlich Bilder auf der Netzhaut schon scharf begrenzt erscheinen, wenn sie auch aus Zerstreuungskreisen von einer gewissen Kleinheit zusammen gesetzt sind, oder: dass Zerstreuungskreise erst dann gefühlt werden, wenn sie eine gewisse Grösse überschreiten. Es mag immerhin bei den verschiedenen Individuen je nach der verschiedenen Schärfe des Gesichts das Maximum solcher nicht gefühlter Zerstreuungskreise verschieden gross sein. Dass wir aber auch Zerstreuungskreise auf der Netzhaut nie so gross fühlen, als sie sich in Wirklichkeit darstellen, lässt sich durch die Construction eben sowohl beweisen, als es sich durch die Beobachtung bestätigt.

Ein jeder Zerstreuungskreis wird, nothwendiger Weise so beschaffen sein, dass seine Lichtintensität in der Mitte am grössten, nach den Rändern hin aber immer geringer ist. Der geringe Reiz aber, den der schwach erleuchtete Rand des Zerstreuungskreises auf die Netzhaut ausübt, muss vollständig gleichsam übertäubt werden von dem intensiven Lichte des Centrums eines neben ihm liegenden.

Dass wirklich schwache Lichteinwirkungen von stärkern, die auf denselben Punkt der Netzhaut fallen, so unterdrückt werden, dass sie gar nicht zur Perception kamen, könnte man aus folgendem einfachen Versuche entnehmen: Man nähere eine Nadel allmählich dem Auge, indem man einen Punkt in der Entfernung des deutlichen Sehens fixirt. Das Bild derselben wird immer undeutlicher und verschwindet zuletzt so vollkommen, dass nur die andern Bilder, die man wahrnimmt, ein klein wenig an Lichtstärke verloren zu haben scheinen. Es sind hiebei dann nämlich die Zerstreuungskreise, welche die Nadel bilden, von so geringer Lichtstärke, dass sie vor den hell erleuchteten scharfen Bildern nicht gesehen werden.

Die Beobachtung bestätigt diese Ansicht vollständig. Die richtigste Vorstellung von der wirklichen Grösse eines Zerstreuungskreises erlangt man durch den Scheinerschen Versuch. Betrachtet man durch zwei kleine Oeffnungen einen Gegenstand, z. B. eine Nadel in einer diesseits des deutlichen Sehens gelegenen Entfernung, so erscheint sie doppelt, indem von dem Zerstreuungskreise, den ihr Bild auf der Netzhaut erregen würde, durch die mit zweien Löchern versehene vor die Pupille gehaltene Blende alles bis auf einige nahe dem Rande desselben gelegene Strahlen abgefangen wird, die auf der Netzhaut zwei isolirte Bilder erzeugen. Die Distanz dieser Bilder würde die Grösse des Zerstreuungskreises darstellen, wenn die Oeffnungen vor der Pupille so weit als möglich von einander ständen, d. h. also etwas weiter als die grösstmöglichste Weite der Pupille.

Empfände man nun den ganzen Zerstreuungskreis auf der Netzhaut, so würde die vorgehaltene Nadel bei unverändertem Abstande von der Hornhaut eben so breit gesehen werden müssen, als der Abstand der Doppelbilder war. Macht man aber auch nur annäherungsweise die Entfernung der Oeffnungen von einander möglichst weit, so wird man von der sehr grossen Verschiedenheit in der Breite des mit blossem Auge gesehenen Bildes und in der Distanz der Doppelbilder sich aufs leichteste überzeugen können.

Es fragt sich nun, in welcher Art diese oben deducirten Thatsachen mit den gewöhnlichen Versuchen sich vereinigen lassen, aus denen man die Nothwendigkeit einer genauen Accommodation des Auges für die verschiedenen Entfernungen zu deduciren pflegt. Es ist leicht ersichtlich, dass bei unverändertem Brechungsverhältniss der Medien des Auges um so grössere Zerstreuungskreise entstehen werden, je weiter sich die Pupille dilatirt, um so kleinere, je mehr sie zusammen gezogen ist. Dieser Umstand ist von bedeutender Wichtigkeit in Bezug auf die Würdigung jener Experimente, niemals aber bis jetzt in Betrachtung gezogen worden. Gesetzt, man fixirt ein nahes Objekt, und ein entfernteres, das gleichfalls in der Augenaxe liegt, erscheint dabei undeutlich, während dieses in scharfen Umrissen wahrgenommen wird, sobald man seine Aufmerksamkeit auf dasselbe richtet, wobei zugleich das nähere undeutlich wird, so hat bei diesem Experimente ein Wechsel in der Grösse der Pupille statt gefunden, mit welchem nothwendi-

ger Weise auch eine Veränderung in der jedesmaligen Grösse der Zerstreuungskreise verbunden sein musste. Da wir nun gesehen haben, dass Zerstreuungskreise nur dann zur Empfindung auf der Netzhaut kommen, wenn sie eine gewisse Grösse überschreiten, so wäre es ja möglich, dass die zu grossen Zerstreuungskreise nur bedingt wären durch die der Entfernung des Bildes nicht angemessene Zusammenziehung der Iris. Man ist also berechtigt anzunehmen, dass die früher aufgeführten Versuche, aus welchen man die dem Auge inwohnende Fähigkeit die Brechung seiner Medien willkührlich zu modificiren darzuthun gedenkt, insofern nicht stricte beweisend seien, als bei allen auf jene, während des Versuchs nicht zu vermeidende Verengerung und Erweiterung der Pupille nicht Rücksicht genommen ist.

Es liegt deshalb die Vermuthung sehr nahe, dass dem Auge gar nicht eine Adaptions-Fähigkeit inwohne, und dass, auch wenn sich die Bilder auf der Netzhaut nicht mit vollkommener Schärfe darstellen, man sie doch scharf begrenzt zu sehen wähne. Es ist mir aber gelungen, einige leicht zu wiederholende Versuche zu ersinnen, aus welchen eine Veränderung im Refractions-Zustande des Auges aufs entscheidentste erwiesen wird. Auch sie basiren auf dem Scheinerschen Versuche.

Es giebt Menschen, welche die Fähigkeit besitzen, den M. rectus internus der einen Seite willkührlich zu contrahiren, ohne die Stellung des andern Auges zu verändern, und ohne in der Intention nachzulassen,

das beobachtete Objekt zu fixiren. Herr Dr. Reinke ist der einzige mir bekannte Mensch, der diesen Versuch anzustellen vermag. Ich habe Gelegenheit gehabt, folgende Beobachtung bei seinem Auge zu machen:

Wenn er durch eine Doppelöffnung einen entfernten Gegenstand zu betrachten sich bemüht, so ist er im Stande abwechselnd denselben einfach und doppelt sich erscheinen zu lassen, und zwar sieht er ein Objekt, welches in einer Entfernung steht, in der es bei normaler Stellung des Auges einfach erscheint, doppelt, wenn er das andere Auge nach innen stellt und beide Bilder nähern sich wieder immermehr, jemehr er in der Contraction des innern Augenmuskels nachlässt, bis sie bei der Normalstellung der Augen vollkommen in einander übergegangen sind. Verdeckt man, während das entfernte Bild doppelt gesehen wird, eine der Oeffnungen, so schwindet das Bild derselben Seite, woraus sich aus früher aufgestellten Grundsätzen ergiebt, dass die durch die beiden Oeffnungen ins Auge gelangenden Lichtkegel bereits vor der Fläche der Netzhaut zur Vereinigung gekommen sind, die Brechungsfähigkeit der Medien des Auges also für die Entfernung des Objekts zu gross ist. Ich muss hiebei bemerken, dass mit dieser willkührlichen Contraction des rectus internus keinesweges der Horopter des Auges verändert wird, dass vielmehr das bewegte Auge nach der Versicherung des Herrn Reinke gar nicht sehe, während er die Intention beibehält, den entfernten Gegenstand mit möglichster Deutlichkeit zu percipiren. Wurde

der Versuch so angestellt, dass Herr Reinke mit unbewaffnetem Auge, ohne dass die Doppelöffnung vor dasselbe gestellt war, nach dem entfernten Gegenstande blickte, und nun zugleich das andere Auge nach innen drehte, so fühlte er bei der grössten Anstrengung ihn möglichst deutlich zu sehen, dass die Umrisse desselben an Schärfe verloren.

Es kann dieser Versuch auch in folgender Art modificirt werden: man stelle eine Nadel in einer Entfernung auf, in der man dieselbe nicht mehr einfach sehen kann, so dass Doppelbilder durch die erst hinter der Netzhaut sich bildende Vereinigung der Lichtstrahlen entstehen, es werden dann dieselben sich nähern und zusammenfliessen, wenn man das geschlossene Auge nach innen stellt.

Es ist bekannt, dass durch das willkührliche Einwärtsstellen des Auges die Pupille sich erweitert; diese Erweiterung kann aber auf die Grösse des Zerstreuungskreises keinen Einfluss haben, da der letzte nur von dem Refractionszustande des Auges und dem Abstande der beiden Oeffnungen von einander abhängig ist; dieser aber sich gleich blieb, sowohl dann, wenn das Bild einfach, als auch dann, wenn es doppelt gesehen wurde. In beiden Fällen gelangten also Theile eines gleich breiten Strahlenkegels ins Auge und die Veränderung in der Lage der Doppelbilder wird nur aus einer im Innern des Auges vor sich gehenden Veränderung in den Brechungsverhältnissen der durchsichtigen Theile des Auges erklärlich.

Ein zweiter Versuch ist folgender: Wenn man in einem mässig erhellten Zimmer durch eine Dop-

pelöffnung einen zu nahe stehenden Gegenstand zwiefach erblickt, so weichen die beiden Scheinbilder sehr merklich auseinander, sobald man plötzlich durch Oeffnen der Fenstervorhänge das Licht im Zimmer erhöht, nach einer kurzen Zeit aber, sobald sich nämlich das Auge an den grössern Lichtreiz gewöhnt hat, haben sie sich, wenn auch nicht bis zu demselben Grade, wieder genähert.

Auch in diesem Falle tritt die erhöhte Brechungs-Fähigkeit des Auges gleichzeitig mit einer Verengerung der Pupille ein; aber auch hier kann diese Verengerung, die ohnehin immer nur eine Verkleinerung des Zerstreuungskreises erzeugen würde, nicht Ursache des Auseinanderweichens der Scheinbilder sein, da immer nur derselbe Theil der Linse den Lichtstrahlen den Durchgang gestattet. Bemerkenswerth ist in Bezug auf diesen Versuch noch der Umstand, dass, wenn man ihn mehrere Mal an ein und demselben Auge wiederholt, es vorübergehend in den Zustand der Weitsichtigkeit versetzt wird. Diese Erfahrung, von deren Wahrheit man sich aufs leichteste überzeugen kann, scheint in ihrem ganzen Umfange noch nicht erklärbar, gewiss ist dieselbe aber für die Theorie der Adaptions-Fähigkeit des Auges von nicht geringer Bedeutung.

Aus denselben Ursachen sind auch zwei andere Beobachtungen zu erklären. Die erste derselben ist die, dass wenn jemand bei einer bestimmten Erleuchtung liest, und man plötzlich die Schrift durch ein Licht erhellt, das hinter dem Kopfe des Lesenden

angebracht wird, für einen Augenblick das Bild der Buchstaben undeutlich erscheint, da doch bei der zugleich eintretenden Verengerung der Pupille und grössern Helligkeit des Objektes im Gegentheil eine Verkleinerung der etwa vorhandenen Zerstreuungskreise und grössere Deutlichkeit in der Perception eintreten müsste. Die andere Beobachtung ist, so viel ich weiss, nicht bekannt. Wenn man nämlich eine Schrift gerade in der Entfernung vor dem Auge hält, in der man sie am leichtesten erkennt, und nun das eine Auge schliesst, so muss man das Buch, um die Buchstaben mit derselben Deutlichkeit zu lesen, ein wenig entfernen. Es erklärt sich auch diese Erscheinung aus der, durch das Schliessen des andern Auges hervorgebrachten Erweiterung der Pupille, in deren Folge eine Verringerung des Refractions-Zustandes eintritt. Man sollte eigentlich, wenn man an diese Deutung des Versuchs nicht erinnert wird, es für wahrscheinlicher halten, dass das Objekt dem Auge genähert werden müsste, wenn man nach Verschliessung eines Auges es mit derselben Deutlichkeit sehen wollte. Bei weitsichtigen und sogenannten Normalaugen wird dieser Versuch entscheidendere Resultate liefern, da hier die Adaptionsweiten, wie wir sogleich sehen werden, grösser als bei Kurzsichtigen sind.

Eine Modification des oben durchgeführten Experiments ist folgende: Betrachtet man in einem mässig erhellten Zimmer durch eine Doppelöffnung zwei Nadeln, von denen die eine in der Focal-Distanz des

Auges, die andere diesseits derselben liegt, und erzeugt plötzlich eine stärkere Beleuchtung der Objekte und Contraction der Pupille durch Entfernung der Vorhänge, so wird, wenn man die entferntere Nadel betrachtet, augenblicklich mit der Verkleinerung der Pupille auch die Verkleinerung der Distanz der beiden Scheinbilder von der nähern Nadel eintreten.

Der dritte Versuch, welcher eine von der Veränderung der Pupillenweite unabhängige Vergrösserung und Verkleinerung der Zerstreuungskreise beim Sehen entfernter und naher Gegenstände beweist, ist dieser: Wenn man vor einer Doppelöffnung zwei Nadeln hinter einander aufstellt, von denen die eine diesseits, doch nahe an dem Punkte, in welchem kein Doppelbild mehr erscheint, die andere aber jenseits befestigt ist, so wird man die erste Nadel selbst dann doppelt erblicken, wenn man dieselbe in den Horopter zu bringen sucht, dieses Doppelbild aber wird merklich auseinander weichen, wenn man die entfernte Nadel betrachtet. Steht diese letzte ziemlich weit entfernt, die erste aber sehr nahe am Auge, so erscheint die entferntere doppelt, wenn man die nähere fixirt. Wird während dieses Versuchs eine der Doppelöffnungen verdeckt, so schwindet von den vordern Bilder-Paaren das der entgegengesetzten von dem hintern, das derselben Seite.*) Richtet

*) Wie man durch Verdecken einer der Doppelöffnungen erfahren kann, ob die Doppelbilder von Strahlen erzeugt werden, die vor oder hinter der Retina ihre Vereinigung finden, haben wir oben bei der Betrachtung des Scheinerschen Versuchs gesehen.

sich aber das Auge und die Aufmerksamkeit des Beobachters auf die entfernte Nadel, so wird diese augenblicklich einfach gesehen, indem ihre beiden früheren Bilder sich schnell nähern und in einander verschmelzen, während die Doppelbilder der nähern Nadel in demselben Augenblicke auseinander gehen.

Aus diesen Versuchen erhellt aber zugleich aufs Deutlichste, dass auch unwillkührlich das Anpassungsvermögen des Auges sich ändern könne, und dass diese Aenderung immer sogar mit einer Modification in der Grösse der Pupille auftrete, aus welchem Grunde auch immerhin die letzte entstehen mag. Contrahirt sich die Pupille, so verringert sich die Focal-Distanz des Auges, gleichviel ob diese Contraction durch die Intention, ein nahes Objekt zu fixiren, und die willkührlich herbeigeführte grössere Divergenz der Augenaxen, oder durch plötzlich einwirkenden Lichtreiz erzeugt wird; erweitert sie sich, so verringert sich der Refractions-Zustand der Medien.

Suchen wir uns nun einige Bestimmtheit über den Grad zu verschaffen, in welchem die Accommodations-Fähigkeit des Auges wirklich statt findet, so wird uns auch hierüber wieder der Scheinersche Versuch Auskunft geben. Ueberall, wo bei demselben bei möglichst grosser Distanz der Doppelöffnung zwei Bilder gesehen werden, erfolgt die Vereinigung der ins Auge gelangenden Strahlen nicht in der Fläche der Netzhaut, sondern vor oder hinter demselben, d. h. das Auge kann sich für diesen Abstand des Objekts nicht adaptiren. Nach der ge-

wöhnlichen Ansicht über das Accommodations-Vermögen müsste also ein Objekt dem Normal-Auge in einer Entfernung von 4 Zollen eben sowohl einfach erscheinen als in jeder Entfernung die darüber hinaus liegt, bis ins Unendliche.

Es liesse sich hiegegen vielleicht noch ein Einwurf machen. Wir haben gesehen, dass durch eine Verengerung der Pupille das Auge sich zum Sehen in der Nähe adaptirt, d. h. dass die Brechungsfähigkeit seiner Medien sich verstärkt, eben so wie sich dieselbe durch ihre Erweiterung verringert. Da nun die Pupille sich wegen der Verringerung des Lichtreizes, den die Retina erfährt, erweitert, sobald der Scheinersche Versuch angestellt wird, so könnte man annehmen, dass auf diese Weise die Focal-Distanz des Auges grösser werde, der Punkt also, in welchem wir keinen Zerstreuungskreis sehen, weiter hinausrückte. Es wäre das aber nur ein Beweis für die Richtigkeit der durchzuführenden Ansicht, dass nämlich weniger von dem Vorhandensein oder von der Grösse des Zerstreuungskreises, als vielmehr von der Grösse des Gesichts-Winkels die Deutlichkeit und Schärfe des von der Netzhaut wahrgenommenen Bildes abhängt. Die Wahrheit hievon erhellt aus folgender Deduction: Wenn die Vergrösserung der Pupille beim Scheinerschen Versuch von der geringeren Lichteinwirkung auf die Retina abhängt, so muss natürlich dasselbe eintreten, sobald wir bei einer geringeren Beleuchtung irgend einen Gegenstand zu sehen uns bemühen, es wird auch dann mit der Vergrösserung der Pupille die Focal-Distanz des Auges

sich verlängern, so dass wir in diesem Falle deutlicher ein entfernteres Objekt erkennen könnten. Im Gegentheil ist aber bekannt, dass wir dann den zu betrachtenden Gegenstand dem Auge mehr nähern müssen, um seine einzelnen Theile erkennen zu können, woraus hervorgeht, dass der auf diese Weise erzeugte grössere Gesichts-Winkel zum deutlichen Sehen mehr beiträgt, als der mit der Entfernung gegebene Mangel an Zerstreuungskreisen.

Prüft man nun mit dem Scheinerschen Versuche die verschiedensten Augen, so sieht man, dass es keines gebe, welches die Fähigkeit hat, durch eine Doppelöffnung ein Objekt stets einfach zu sehen, wenn es abwechselnd in einer Entfernung von 4 Zollen und in unendlicher Entfernung vom Auge abliegt; vielmehr habe ich durch Ausmessung der Focal-Distanz der verschiedensten Augen Resultate gewonnen, welche eine sehr beschränkte und aus der oben angedeuteten und später noch einmal zu besprechenden Theorie der Anpassung durch Vor- und Zurücktreten der Linse leicht erklärliche Accommodations-Fähigkeit des Auges darthun. Der Grad der Adaption wird nach dem Gesagten offenbar durch die Länge des Raumes bestimmt, um welchen ein Objekt verschoben werden kann, um noch einfach durch eine Doppelöffnung zu erscheinen, wir wollen diesen Raum die Adaptions-Weite nennen; die Entfernungen, in welchen das von dem Auge allmählich immer mehr abgerückte Objekte durch die Doppelöffnung zuerst einfach gesehen wird, heisse das Maximum, der Ab-

stand, in dem es bei weiterm Fortrücken wieder beginnt doppelt zu werden, das Minimum des Refractionszustandes für ein bestimmtes Auge.

Es scheint als ob zur genauen Bestimmung der Adaptions-Weite es nöthig wäre, dass die Doppelöffnungen einen der Pupillenweite entsprechenden, möglichst grossen Abstand von einander haben müssten, da indessen für diesen Fall das Experiment schwieriger anzustellen, auf der andern Seite aber auch die dem Rande näher gelegenen Theile der Linse eine stärkere Brechung besitzen, so ist es zweckmässig, die Oeffnungen nicht über eine Pariser Linie von einander entfernt zu machen; die Resultate, die leicht ersichtlich auch aus anderen Gründen kleinen Schwankungen unterliegen müssen, (je nahdem z. B. das Auge näher an der Blende ansteht, oder weiter von ihr entfernt ist) geben für die vorliegenden Untersuchungen hinlänglich sichere Resultate.

Je nach der verschiedenen Brechungsfähigkeit der Flüssigkeiten des Auges und je nach der stärkern oder geringern Krümmung seiner Medien wird natürlich das Minimum und Maximum des Refractionszustandes variiren, und gewiss lassen sich für jeden Abstand derselben, von wenigen Linien bis ins Unendliche, Augen auffinden. Es giebt sogar solche, bei denen die Brechungsfähigkeit so gering ist, dass selbst die aus unendlicher Entfernung kommenden Strahlen noch Doppelbilder auf der Netzhaut erzeugen, da sie erst hinter ihr ihre Vereinigung finden.

Ausmessungen an den verschiedensten Augen haben es mir aber gezeigt, dass für ein jedes Minimum des Refractionszustandes immer ein bestimmtes Maximum gehöre, und dass, wenn man nur eines, das Minimum oder Maximum gemessen hat, man aus demselben die Adaptions-Weite mit uugefährer Gewissheit vorher zu bestimmen im Stande sei.

Ehe ich weiter gehe, sei es mir vergönnt eine Tabelle vorzulegen, welche die Beobachtungen der Adaptions-Weiten verschiedener von mir gemessener Augen darstellt. So einfach das zur Beobachtung nöthige Experiment ist, so giebt es doch nur sehr wenige Menschen die nicht zu ungeschickt wären, um es anstellen zu können. Von den Ausmessungen, die ich gemacht, stelle ich 11 hieher, bei denen die Focal-Distanzen in ungefähr gleichmässigen Zwischenräumen liegen.

Maximum des R.Z.	Minimum des R.Z.
I. 24 . . .	35
II. 52 . . .	80
III. 70 . . .	110
IV. 78 . . .	150
V. 82 . . .	150
VI. 83 . . .	160
VII. 100 . .	180
VIII. 110 . .	195
IX. 148 . .	246
X. 180 . .	600 ungefähr
XI. 260 . .	∞*)

Bei einem Auge, dessen Maximum des Refractions-Zustandes = 210 war, scheinen Gegenstände in sehr

*) Die Zahlen bedeuten, wenn sie nicht besonders bezeichnet sind, Pariser Linien.

grosser Entfernung noch doppelt gesehen zu werden, doch konnte der Beobachter darüber selbst sich nicht genaue Rechenschaft geben. Augen, bei denen das Maximum der Adaptions-Weite kleiner als 150 ist, (I—IX) können zu den kurzsichtigen gezählt werden, solche die den unter X. und XI. verzeichneten ähnlich sind, rechnet man gewöhnlich zu den Normalaugen, liegt das Maximum über 300 hinaus, so empfindet das Individuum, namentlich wenn die Pupille nicht sehr contractil ist, merkliche Undeutlichkeit beim Sehen naher Gegenstände, das Auge ist presbyopisch. Die Betrachtung dieser Tabelle zeigt zuerst, dass die Adaptions-Weite mit der Focal-Distanz des Auges wächst, indem ein Auge, dessen Maximum des Refractionszustandes etwa 2″ ist, noch nicht bis 3″ hin ohne Zerstreuungskreise sieht, während ein Auge von 10″ Brennweite bis auf etwa 15″ und endlich eines von 22″ bis in unendliche Entfernung sich anzumessen im Stande ist.

Etwas ganz Analoges sehen wir beim Fernrohr. Haben wir dasselbe auf einen nahen Gegenstand gerichtet, und wollen einen andern scharf sehen, der nur um Weniges näher liegt, so sind wir genöthigt das Ocular um ein Bedeutendes vom Objectivglase zu entfernen, entspricht die Stellung der Linsen gegen einander aber der unendlichen Entfernung, so bedarf es nur einer sehr geringen Verrückung des Oculars, um ein Bild zur Perception zu bringen, das einige hundert Schritte von dem Beobachter entfernt liegt. Man sieht also, dass im ersten Falle bei demselben Raume, um den das Ocular vom Objektiv

entfernt wird, das Instrument sich um einen sehr viel kleinern Raum adaptirt als im zweiten.

Es scheint deshalb von vorn herein wahrscheinlich, dass durch einen und denselben Vorgang im Auge bei verschiedenem Refractionszustande (der nun wiederum, entweder in einer stärkern Brechungsfähigkeit eines der Medien, oder in einer stärkeren Convexität einer ihrer Flächen seinen Grund haben kann), jene verschiedenen Adaptions-Weiten zu Stande kommen, und dass namentlich die Dislocation der Linse um einen möglichen kleinen Raum jene verschiedenen Maxima und Minima des Refractions-Zustandes bei verschiedenem, dem Auge ursprünglich inwohnendem Brechungs-Vermögen bedinge. Diese Annahme gewinnt durch Folgendes an Wahrscheinlichkeit:

Unterwirft man irgend ein Auge von bestimmter Refractionskraft der Beobachtung, und bestimmt an dem Optometer das Minimum und Maximum seiner Adaptions-Fähigkeit, so wird natürlich, wenn man es mit einem Concavglase bewaffnet, die Brechungsfähigkeit sich verringern, und verstärkt werden, wenn man Convex-Gläser zur Anwendung bringt. Gesetzt das Auge adaptirte sich von 100 bis 180, so kann man bei der richtigen Wahl eines hohlgeschliffenen Glases den Refractions-Zustand so weit verringern, dass das Maximum desselben bis auf 260 sich vergrössert, d. h. dass die durch die Doppelöffnungen gesehene Nadel erst bei der genannten Entfernung einfach erscheint: in diesem Falle kann nun, wie

bei dem unter XI in der Tabelle bezeichneten Auge das Objekt bis ins Unendliche fortgerückt werden, ohne dass es jemals wieder doppelt gesehen würde. Stellt man dagegen vor das Auge ein Convex-Glas von 7 Zoll Brennweite, so verringert sich durch Vergrösserung des Refractions-Zustandes das Maximum der Adaptions-Weite auf 52, und das Objekt kann nur bis auf 70 entfernt werden, um noch einfach zu erscheinen. Mit einem Worte verändert man den Refractions-Zustand des Auges durch vorgestellte Gläser von verschiedener Brennweite, so werden für die Beobachtung der Adaptionsweite des bewaffneten Auges sich Werthe herausstellen, welche mit ungefährer Genauigkeit den in der Tabelle durch Ausmessung verschieden stark brechender Augen gefundenen correspondiren.

Wir wollen von zwei in den Tabellen angeführten Augen, dem Auge Nr. VII. und Nr. XI. diese Beobachtung durchführen.

Es adaptirte sich das erste derselben unbewaffnet von 100—180; die nachstehende Tabelle zeigt die Veränderung in den Adaptions-Weiten, wenn Gläser von den in der ersten Columne verzeichneten Brennweite vorgetellt werden.

— 13″ . .	223 . . .	?
— 16″ . .	216 . . .	?
— 24″ . .	150 . . .	300
— 60″ . .	120 . . .	200
— 72″ . .	108 . . .	190
∞ . . .	100 . . .	180
+ 30″ . .	78 . . .	140
+ 20″ . .	68 . . .	100
+ 10″ . .	56 . . .	90
+ 7″ . . .	52 . . .	70

Das Minimum des Refractions-Zustandes beim Gebrauch von Concav-Gläsern von 13″ und 16″ Focus konnte nicht mit Bestimmtheit ermittelt werden, doch scheinen sehr weit abliegende Gegenstände schwache Ränder von Doppelbildern herrührend, zu haben.

Für das Auge Nr. XI. ergeben sich Resultate, die wir aus der folgenden Tabelle entnehmen.

∞ . . .	260 . . .	∞
+ 96″ . .	120 . . .	246
+ 60″ . .	80	150
+ 48″ . .	70	124
+ 20″ . .	62	100
+ 10″ . .	52	65

Man ersieht hieraus, dass die Adaptions-Weite bei den verschiedenen Augen nur von dem jedesmaligen Refractionszustande abhängig ist, so dass, wo derselbe grösser sich findet, jene kleiner wird und umgekehrt, und man auf diese Weise an einem und demselben Auge durch Vorsetzen verschiedener Gläser alle möglichen Adaptionsweiten mit ziemlicher Genauigkeit zur Beobachtung bringen kann. Man bemerkt hiebei jedoch eines, worauf ich von vorne herein aufmerksam machen will: Untersucht man ein sehr kurzsichtiges Auge, dessen Brechungs-Zustand man durch Concav-Gläser verringert, so fallen die Adaptions-Weiten durchschnittlich etwas grösser aus, während auf der andern Seite die Adaptions-Weite kleiner sich zeigt*), wenn man die Refractionskraft eines weit-

*) Wenn man z. B. das Auge Nr. I. mit einem Concav-Glase von $4\frac{3}{8}$″ Brennweite bewaffnet, so adaptirt es sich von 78‴ bis 320‴, während das Auge Nr. IV. sich nur für die Entfernung von 78‴ bis 150‴ anpassen konnte.

sichtigen Auges durch Anwendung von Convex-Gläsern vergrössert. Ich werde sehr bald auf diese Beobachtung wiederum zurückzukommen Gelegenheit haben.

Wir sehen also dass ein und dieselbe Veränderung im Innern des Auges die Anpassung für sehr verschiedene Weiten bewerkstelligt, je nachdem bei stärkerer Brechungsfähigkeit der Medien, oder grösserer Krümmung ihrer Oberflächen die Fokal-Distanz eine andere ist.

Es käme nun noch darauf an durch Rechnung zu zeigen, ob eine in den Grenzen der Möglichkeit liegende Verrückung der Krystallinse jene Veränderungen im Refractions-Zustande des Auges hervor zu bringen, ausreiche. Die Methode, deren ich mich bei dieser Rechnung bedient habe, ist eine nur sehr annäherungsweise richtige, und ihre Resultate sind nur in ihrem wechselseitigen Bezug zu einander brauchbar. Ich habe auf Seite 143 den von Dr. Senff berechneten gebrochenen Ausdruck aufgeführt, welcher den Abstand angiebt, in dem die aus einer Entfernung l auf das Auge fallenden Strahlen hinter der hintern Fläche der Linse sich vereinigen. In dieser Formel bezeichnet d den Abstand der vordern Linsenfläche von der hintern Fläche der Hornhaut. Nimmt man nun an, dass d um ein bestimmtes variiren könne, so muss, wenn die Lage des Bildes hinter der hintern Linsen-Fläche unverrückt bleiben soll, der ganze Werth der Formel um eben soviel sich verkleinern als d, sich vergrössert und umkehrt. Man kann also, hierauf gestützt, indem man für l einen beliebigen Werth annimmt, während man den grössten

Werth von d einsetzt, den ganzen Ausdruck berechnen und nun wiederum einen zweiten Werth von l dadurch bestimmen, dass man für d das Minimum einsetzt. (d′) und den Gesammtwerth der Formel um d — d′ vergrössert.

Dass diese Werthe nur annäherungsweise richtig sind, sieht man schon daraus, dass wenn l = ∞ gedacht wird, aus der Formel die Lage des Bildes fast 3‴ hinter der Netzhaut sich ergiebt, während leicht ersichtlich dieser Fehler um so grösser wird, je mehr l abnimmt. Offenbar ist eine oder mehrere, der bei der Berechnung zu Grunde gelegten Grössen zu klein, man dürfte den Krümmungs-Halbmesser der Hornhaut nur von 4,3‴ auf 3,3‴, wie er nach anderen Beobachtern angegeben wird, sich verkürzt denken, oder den Brechungs-Confficienten der Linse ein Geringes erhöhen, um ein bei Weitem mehr zufriedenstellendes Resultat zu erhalten. Da indessen die auf dem früher angedeuteten Wege gewonnenen Resultate in ihrer Relation zu einander für den vorliegenden Fall ausreichende Genauigkeit liefern, wollte ich diese willkührliche Aenderung mir nicht erlauben.

Hueck will aus Versuchen gefunden haben, dass als Maximum der Ortsveränderung, das die Linse erleiden kann = 0,75‴ angenommen werden könne, indem die Iris bei der Betrachtung eines 5 Zoll von dem Auge entfernten Gegenstandes durch das Andrängen der vordern Linsenfläche 0,5‴ in die vordere Augenkammer hineingebogen werde, zu welchem Werthe die Entfernung der Uvea von der vordern Linsen-

fläche mit 0,25 hinzuzurechnen ist. Nehmen wir auch an, dass die Linse nicht so weit nach vorn vortreten könne, als Hueck angiebt, so würde doch das Maximum der Dislocation der Linse auf 0,75‴ festzustellen erlaubt sein, da aus weiter unten auseinander zu setzenden Gründen es wahrscheinlich wird, dass die Linse beim Sehen in der Entfernung etwas mehr zurückweichen könne, als man sie im todten Auge gelagert antrifft. Es wäre deshalb wahrscheinlich am richtigsten, wenn man d und d′ = 0,75 und 1,5 annähme. Berechnet man nach diesen Angaben die Adaptionsweiten des Auges durch Einsetzen verschiedener Werthe von l in die angeführte Formel, so ergeben sich folgende Resultate.

l bei d = 1,5	l bei d = 0,7
30 . . .	28
60 . . .	49
90 . . .	71
120 . . .	89
180 . . .	113
240 . . .	137
300 . . .	159
360 . . .	163
480 . . .	178
600 . . .	195
720 . . .	201
1200 . . .	225
2400 . . .	254
∞ . . .	280

Vergleichen wir die Werthe in der Tabelle mit den durch Ausmessung des Refractions-Zustandes verschiedener Augen auf pag. 164 angegebenen, so finden wir eine, für den vorliegenden Fall genügende Uebereinstimmung. Im Ganzen sind die Adaptions-Weiten wie sie an den verschiedenen Augen abgele-

sen wurden grösser, als die durch Rechnung gefundenen: Bedenken wir aber dass einerseits bei der schwachen Beleuchtung des Objekts im Optometer das erste Auseinanderweichen der Doppelbilder nach beiden Richtungen hin (sowohl bei der Bestimmung des Minimums als bei der Bestimmung des Maximums des Refractions-Zustandes) der Beobachtung sich leicht entziehen dürfte, so würden in der Wirklichkeit die Resultate günstiger ausfallen. Wollten wir auf der andern Seite noch hiezu annehmen, dass in der Formel die zur Berechnung gedient, der Fehler auf den wir eben bereits aufmerksam machten, nur darin beruhe, dass in Bezug auf die Linse entweder die Krümmungs-Halbmesser ihrer Flächen, oder der Brechungs-Coefficient zu klein angegeben ist, so müssten die durch die Rechnung ermittelten Adaptions-Weiten grösser ausfallen, und sich so eine noch grössere Uebereinstimmung zwischen Beobachtung und Rechnung herausstellen.

Wir haben, was ersichtlich unrichtig ist, bei der Rechnung verschiedene Werthe von l für ein und dasselbe Auge sustituirt, offenbar muss, wenn l kleiner ist, eine stärkere Brechungs-Fähigkeit der Medien an irgend einer Stelle in demselben statt haben. Nehmen wir willkührlich an, diese stärkere Brechung beruhe vorzugsweise nur in einer geringern Focal-Weite der Linse, bedingt durch stärkere Convexität der Oberflächen oder stärkere Brechungsfähigkeit ihrer einzelnen Lagen, dann muss die Adaptions-Weite verhältnissmässig grösser werden, jemehr diese Brechungs-Fähigkeit der Linse zunimmt, d. h. ein

kurzsichtiges Auge muss eine verhältnissmässig grössere Adaptions-Fähigkeit haben, als ein weitsichtiges. Wir haben das in unserer Rechnung bestätigt gefunden, indem da, wo wir für l einen kleinen Werth einsetzten (wo wir also die Brechkraft der Linse zu gering anschlugen) die berechnete Adaptions-Weite im Verhältniss zu der durch die Beobachtung gefundenen kleiner ausfällt, als in den Fällen wo l sich mehr dem ∞ nähert.

Fragen wir nun auf welche Weise die Dislocation der Linse zu Stande komme, so scheint es wohl am wahrscheinlichsten, was Zinn zuerst in Anregung brachte, dass nämlich nicht eine muskulöse Thätigkeit im Corpus ciliare, sondern vielmehr ein wechselsweis erfolgende Turgescenz und Entleerung seiner so überaus reichen Blutgefäss-Netze dieselbe bedinge. Wer öfters Injectionen in Augen gemacht, wird sich davon überzeugt haben, welch eine innige Communication zwischen den Gefässnetzen der Iris und des Ciliar-Körpers statt finde, und wie anderseits wiederum die Gefässe der Chorioidea fast gar nicht mit dem erstgenannten zusammen hängen; so dass da, wo die Iris sich mit Masse gefüllt, der Ciliar-Körper niemals, die Chorioidea aber öfters leer bleibt, während die Injection der Letzten wiederum fast vollständig gelungen sein kann, ohne dass Iris und Ciliar-Körper sich gefüllt hätten.

Man wäre also wohl berechtigt, einen Austausch im Blutgehalte der Iris und des Faltenkranzes anzunehmen, vermöge dessen jene sich entleert, während dieser sich anfüllt und umgekehrt. Diese Ansicht gewinnt an

Wahrscheinlichkeit durch die bekannte Beobachtung, dass immer mit dem Sehen in die Entfernung die Pupille sich vergrössert, in welchem Zustande die Iris jedenfalls einen geringern Blutgehalt haben muss; während die Sehe sich verkleinert, eine grössere Quantität Blut also gegen die Irismembran anströmt, sobald das Auge zum Nahesehen eingerichtet wird. Nehme man hiezu noch die oben angeführten Thatsachen, dass nämlich unter allen Umständen, auch ohne die Intention den Horopter zu verändern, der Refractions-Zustand des Auges grösser oder kleiner wird, sobald aus andern Ursachen eine Veränderung in der Grösse der Pupille eintritt, und dass immer mit der Entleerung der Gefässe der Irismembran das Auge weitsichtiger wird, mit ihrer Turjescenz sich für nähere Objekte einrichtet, und dass ferner, sobald die Mobilität der Iris aufhört, eine Lähmung des Refractions-Zustandes und gänzlicher Mangel der Adaptions-Fähigkeit eintritt, so wird die Wahrscheinlichkeit der aufgestellten Theorie zur fast völligen Gewissheit.

Es würde also beim Sehen in die Entfernung das Blut nach dem Ciliar-Körper hingeleitet, und dieser müsste durch seine Turjescenz die Linse der Netzhaut nähern, während bei seiner Entleerung dieselbe mehr vorzutreten im Stande sei. Der Zustand der Ruhe wird höchst wahrscheinlich der sein, in welchen das Blut gleichmässig in beiden Organen vertheilt ist. Es entspricht derselbe der Lage der Linse im todten Auge, so, dass man also, wie es in der geführten Rechnung geschehen, anzunehmen berechtigt

ist, die Linse könne, um im Auge das Maximum des Refractions-Zustandes zu erzeugen noch etwas weiter zurückweichen als sie sich im Tode gelagert findet.

Noch eines muss ich schliesslich berühren, was leicht als Einwurf gegen die aufgestellte Ansicht über die Accommodation benutzt werden dürfte, und doch nur zur Bestätigung derselben dient. Man könnte nämlich die Frage aufwerfen, wie es zugehe, dass Augen von geringerer Focal-Distanz Zerstreuungskreise von fern gelegenen Gegenständen so lebhaft empfinden, während schwächer brechende nichts von den Zerstreuungs-Kreisen fühlen, welche in ihnen beim Sehen in der Nähe erzeugt werden, da ja schon bei den sogenannten Normal-Augen die Focal-Distanz jenseits der eigentlichen Sehweite liegt. Der Grund hievon ist offenbar nur in der Grösse der Zerstreuungskreise zu suchen. Es sind nämlich leicht ersichtlich dieselben bei den kurzsichtigen Augen wegen der beim Sehen in die Ferne nothwendig eintretenden Erweiterung der Pupille viel bedeutender, da sie bei dem Auge von geringerer Brechungs-Fähigkeit durch die Verengerung der Sehe beim Nahesehen verkleinert werden. Auch hat es mich die Beobachtung gelehrt, dass normale, und, in noch höherem Grade weitsichtige Augen eine grössere Contractilität der Iris besitzen als kurzsichtige, so dass hiedurch die Zerstreuungskreise beim Sehen in der Nähe kleiner werden. Ebenso aber glaube ich mit Bestimmtheit behaupten zu dürfen, dass kurzsichtige Augen in der Nähe vollkommener das Bild percipiren, als die sogenannten

normalen, bei denen das Minimum des Refractions-Zustandes 15—18 Zoll vom Auge abliegt; eine Thatsache, die jedem Brillenhändler hinlänglich bekannt ist. Es wird das auch durch unsere Theorie wahrscheinlich, da eben beim kurzsichtigen Auge die Sehweite und die Focal-Distanz des Auges zusammen fallen.

Die gegebenen Auseinandersetzungen erklären also die Phänomene der Adaption, in dem sie zeigen, dass die Verschiebung der Linse um 0,75‴ ausreichend sei, um eine Veränderung in der Brechungs-Fähigkeit der Medien des Auges hervorzubringen, die der durch Beobachtung verschiedener Augen gefundenen entspricht. Sie zeigen dass eine Accommodation in dem gewöhnlichen Sinne, nach welcher nämlich die Vereinigung der Strahlen von Objekten aus unendlicher Entfernung, und in dem Abstande von 4 Zollen in der Fläche der Netzhaut eintreten soll, allerdings in keinem Auge sich vorfindet, und dass dieselbe auch in sofern nicht nöthig sei, als die Retina für Zerstreuungskreise, die eine gewisse Grösse nicht überschreiten, unempfindlich ist, während namentlich in den sogenannten Normal-Augen etwaige vorhandene Zerstreuungskreise durch die Contraction der Pupille bis zu der nöthigen Grösse verkleinert werden.

Es bleibt mir noch übrig einige Worte über die Methode zu sprechen, deren ich mich zur Bestimmung des Kreuzungspunktes der Richtungslinien des Sehens bedient habe. Leicht ersichtlich kann dieselbe nur von einem Auge wie das meinige, einem solchen

nämlich, dem das Accommodations-Vermögen gänzlich mangelt, genau in derselben Art wiederholt werden. Die erste Entfernung des Doppelbildes (c) entnahm ich, indem ich das Objekt zuerst so weit entfernte, bis seine Ränder sich berührten, und dann, nachdem es vorher zu weit abgerückt war, bis auf den Punkt näherte, in dem die erst bezeichnete Stellung wieder eintrat. Diese beiden Entfernungen fallen bei meinem Auge zusammen; es wird das aber keinesweges bei einem solchen statt finden, dessen Refractions-Zustand sich verändern kann, indem es, sobald die Doppelbilder in die zuerst beschriebene Stellung gebracht sind, ihre wechselseitige Lage nicht verändert findet, wenn auch das Objekt eine Strecke weit sich entfernt. Es ist übrigens leicht ersichtlich, dass die Versuche auch von einem normalgebildeten Auge, obgleich weniger leicht wiederholt werden können, wenn es nur während derselben für einen Gegenstand von bestimmter Entfernung eingerichtet erhalten wird, in ähnlicher Art, wie Volkmann bei den von ihm angestellten Messungen über die Grösse der Zerstreuungskreise verfuhr.

Nachtrag.

Als bereits die ersten Bogen der vorliegenden Schrift gedruckt waren, kam das Heft des Müllerschen Archivs mir zur Hand, in welchem Bidders Aufsatz über den Bau der Retina enthalten ist. Der Verfasser fertigt in demselben meine Entdeckung über die Struktur der Macula lutea sehr kurz ab, indem er bemerkt, dass meine Beobachtung auf einer Täuschung beruht habe, dass ich die äussere, der Choroidea zugekehrte Fläche untersuchte, während ich die innere zu beobachten glaubte, und die beschriebenen scheinbaren Körner die Stäbe und Zwillings-Zapfen der Jacobschen Haut (?) wären, die weniger von der Fläche als mit ihren Spitzen mir zu Gesicht gekommen seien.

Ich lasse es dahin gestellt, ob Herr Bidder, weil er das nicht wieder gefunden, was ich gesehen habe, zu der Behauptung berechtigt sei, es existire gar nicht; auffallend muss es mir jedenfalls erscheinen, wenn er ohne Weiteres annimmt, ich hätte die äussere Fläche der Netzhaut als die innere beschrieben, da eine so grobe Verwechselung doch nicht gerade wahrscheinlich, und wie ich es in diesem Falle versichern darf, gewiss nicht vorgekommen ist. Er selbst beschreibt die zusammenhängende Schicht von Körnchen, welche auf der innern Seite der Netzhaut dem Glaskörper zugekehrt liegen, neigt sich aber zu der Ansicht hin, dass man dieselbe als zum letztern gehörig zu betrachten habe. Er meint nämlich, sie adhäriren inniger an ihm, als an der Netzhaut; eine

Beobachtung, die den meinigen geradesweges widerspricht, indem ich beim menschlichen Auge immer fand, dass, so fest auch der Glaskörper der innern Fläche der Retina unmittelbar nach dem Tode anhing, eine Trennung zwischen beiden Gebilden in sehr kurzer Zeit durch Ansammlung von Feuchtigkeit zwischen ihnen erfolgte, wobei die in Rede stehende Lage von Körnchen oder Kügelchen immer mit der Netzhaut in Verbindung blieb.

Bidder nennt selbst diese Schicht so undurchsichtig, dass sie jede Einsicht in die tieferligenden unmöglich mache, und schon hieraus kann man entnehmen, dass sie mehr mit der Netzhaut als mit dem Glaskörper zusammenhänge, da man niemals beim Herausnehmen des Letzten aus der Höhle des Bulbus ihn mit einer undurchsichtigen oder auch nur weniger durchsichtigen Lage überzogen, sondern so vollständig klar und hell findet, dass er, in Wasser suspendirt, gar nicht mit dem Auge wahrgenommen werden kann.

Wenn diese Schicht, wie sie sich wirklich findet, undurchsichtig ist, und der Netzhaut angehört, so muss sie jedenfalls, da sie den in das Auge eindringenden Lichtstrahlen zunächst liegt*), der Theil der Netzhaut sein, welcher der Perception des Lichtreizes vorzugsweise vorsteht, da man wohl auf keine Weise annehmen darf, es werde zwischen der empfindenden Fläche der Retina und den eindringenden Lichtstrahlen noch ein undurchsichtiges Stratum gelagert sein. Diese Ansicht, dass nämlich der in Rede stehende Theil der

*) Beobachtungen an der Retina von Thieraugen haben es mir neuerdings wahrscheinlich gemacht, dass zwischen

Netzhaut der Wahrnehmung des Lichts diene, wird eben durch die Entdeckung über seinen Bau an der Stelle, wo die Licht-Perception am vollkommensten statt findet, nur noch mehr bestätigt.

Wenn ich die Körnchen auf der innern Fläche der Retina, Markkügelchen genannt habe, so geschah das, weil ich sie als die eigentlichen empfindenden Theile der Netzhaut für die Endausbreitungen der Nervensubstanz halten zu müssen glaubte. Sie haben auch in ihrer Formation keine geringe Aehnlichkeit mit den Kugeln der grauen Substanz der Central-Theile; eine Aehnlichkeit, die Bidder selbst einräumt.

Es ist mir in der neuern Zeit zum öftern gelungen, die Bildung der Markkügelchen im gelben Fleck selbst bei Individuen nachzuweisen, deren Tod schon vor zwölf und mehreren Stunden erfolgt war, und ich habe auch Beobachtungen an den Augen mehrerer Thiere gemacht, die etwas ganz Analoges bei ihnen zeigen, namentlich bei dem Hunde, der Katze und dem Kaninchen. Es scheint aber, dass hier die Fläche, auf welcher die Gestellung der Markkügelchen regelmässiger, kleiner, zarter und schärfer begrenzt gefunden wird, sich weiter ausdehnt und ein sehr allmähliger Uebergang nach aussen hin statt findet.

---

der Körnchen oder Markkügelchen-Schicht und der äussern Fläche der Hyaloidea noch eine Lage von homojener vollkommen durchsichtiger Materie sich befindet. Sie ist vorzugsweise deutlich beim Huhne zu erkennen, besonders wenn man die Retina im Profil zur Ansicht bringt. Klenke (in seinen neuen anatomischen und physiologischen Untersuchungen über die Primitivfaser und das Wesen der Innervation) beschreibt sie auch.

Die Untersuchungen am Thierauge sind deshalb um sehr Vieles schwieriger, weil bei ihnen eben nicht wie beim Menschen durch eine andere Färbung die zu untersuchende Stelle sich kenntlich macht.

Weit entfernt also Herrn Bidders Meinung beizutreten, dass nämlich meine Ansicht über den Bau der Macula lutea durch eine Täuschung herbeigeführt sei, vermöge deren ich die äussere Seite der Retina für die innere gehalten, und die stabförmigen Körperchen nicht unter den richtigen Winkel betrachtet hätte, kann ich nur den Wunsch aussprechen, er möge seine bis zum Ueberdruss fortgesetzte Wiederholung der in Rede stehenden Untersuchungen nicht eher aufgeben, als bis er meine Angabe bestätigt gefunden. Uebrigens wird derselbe mir wohl zuzugeben bereit sein, dass trotz seiner verdienstvollen Arbeiten über den Bau der Netzhaut der Gegenstand noch lange nicht erschöpft sei, und noch manches Problem seiner Lösung entgegen sehe.

Schliesslich will ich bemerken, aus einem Universitäts-Programme von A. Hueck, auf das ich in diesen Tagen aufmerksam gemacht bin, entnommen zu haben, wie die Theorie über die Wirkung der schiefen Augenmuskeln, die ich im Anfange des Buchs gegeben, schon früher von dem genannten verdienstvollen Forscher aufgestellt sei. Die Unkenntniss dieses Schriftchens darf man mir billiger Weise verzeihen, und da einerseits meine Auffassungsweise des Gegenstandes die Selbstständigkeit der Untersuchung wohl hinlänglich darthun wird, stellt sich auf der andern Seite die Richtigkeit ihrer Resultate um so wahrscheinlicher heraus.

Erklärung der Lithographieen.

Fig. I. Der Volkmannsche Winkelmesser mit zwei beweglichen Diopter-Linealen zur Lagen-Bestimmung des Drehpunktes im Auge. vergl. pag. 18.

Fig. II. Ein von Volkmann angegebener Apparat mit verschieblichen Dioptern in r und s zur Bestimmung des Drehpunktes. vergl. pag. 22.

Fig. III., IV. und V. Zur Erklärung des Scheinerschen Versuchs. In Fig. III. steht der durch eine Doppelöffnung in b und d betrachtete leuchtende Punkt a so weit ab, dass sich die von ihm ausgehenden Strahlen in der Fläche der Netzhaut vereinigen; in

Fig. IV. liegt er zu nahe; die Strahlen treten hinter der Netzhaut in c zusammen, es entstehen zwei Lichtbilder, die in der Richtung von φ und γ gesehen werden, und von den irritirten Netzhaut-Stellen in f und g herrühren. Bei

Fig. V. ist die Entfernung des betrachtenden Objekts zu gross, die Vereinigung geschieht schon vor der Netzhautfläche. conf. pag. 42.

Fig. VI. Zu Treviranus Erklärung des Scheinerschen Versuchs. conf. pag. 45.

Fig. VII. Der Versuch von Young. conf. pag. 47.

Fig. VIII. Zu Treviranus Erklärung des Versuchs von Porterfield. conf. pag. 49.

Fig. IX. Ein im Scheinerschen Versuche involvirtes Experiment von Mile. conf. pag. 52.

Fig. X. Darstellung der Richtungslinien des Sehens, wenn dieselben die Augenaxe vor dem Drehpunkte schnitten. conf. pag. 56.

Fig. XI. Zu Volkmanns Beweise für die Identität des Drehpunktes und Kreuzungspunktes der Richtungslinie des Sehens, pag. 61.

Fig. XII. Widerlegung des Versuchs von Mile, aus dem er die Verschiedenheit der Kreuzungspunkte der Sehlinien und des Drehpunktes zu erweisen gedenkt, pag. 66.

Fig. XIII. Zeigt die Lage des Axenstrahls in der vordern Augenkammer. conf. pag. 70.

Fig. XIV. und XIX. Darstellung der Zerstreuungskreise bei indirectem Sehen, ihre Stellung zu einander, und zu denjenigen Netzhautbildern, bei denen die Vereinigung in die Retina-Fläche fällt. In Fig. XIV. pag. 72. liegt B in dem Focus des Auges, C diesseits desselben. Von dem Zerstreuungskreise $\alpha\beta$ wird der Theil $\beta\gamma$ durch die Iris abgefangen. Dasselbe Lagen-Verhältniss gilt für Fig. XV. pag. 74. nur liegen hier die Punkte B und C weniger weit von der Augenachse ab.

In Fig. XVI. pag. 76. liegt wiederum B in der Focal-Distanz des Auges C darüber hinaus; von dem Zerstreuungskreise $\alpha\gamma$ wird $\beta\gamma$ durch die Iris abgefangen.

Fig. XVII. pag. 78. B liegt diesseits, C jenseits der Focal-Distanz des Auges, die Iris blendet von dem Zerstreuungskreise $\alpha\gamma$ den Theil $\beta\gamma$, von dem Zerstreuungskreise $\alpha'\gamma'$ den Theil $\beta'\gamma'$ ab.

In Fig. XVIII. liegen beide Punkte, B sowohl, als C diesseits der deutlichen Sehweite, die von der Iris abgefangenen Theile der Zerstreuungskreise sind mit $\beta\gamma$ und $\beta'\gamma'$ bezeichnet.

In Fig. XIX. pag. 79. liegen beide Objekte so weit ab, dass die Vereinigung der von ihnen ausgehenden Strah-

len in der Höhle des Bulbus in C′ und B′ stattfindet. Die Theile der Zerstreuungskreise, welche mit $\alpha\beta$ und $\alpha'\beta'$ bezeichnet sind, werden von der Iris abgeblendet.

Fig. XX. erläutert die Methode, deren ich mich zur Bestimmung des Kreuzungspunktes der Richtungslinien des Sehens bedient habe. CB und C′B′ ist die, an zwei Stellen des Raumes gemessene Distanz der Doppelbilder. conf. pag. 84.

Fig. XXI. Der Cylinder, den ich bei der Messung der Distanz der Doppelbilder gebrauchte. conf. pag. 89.

Fig. XXII. und XXIII. Zu Volkmanns Beweise für die Unhaltbarkeit aller Theorien über die Accommodations-Fähigkeit des Auges, welche eine Dislocation der Linse fordern. conf. pag. 139.

Fig. XXIV. Verdeutlicht das Kleinerwerden der Zerstreuungs-Scheiben beim Sehen durch kleine Oeffnungen conf. pag. 147.

Fig. I. *Tab. I.*

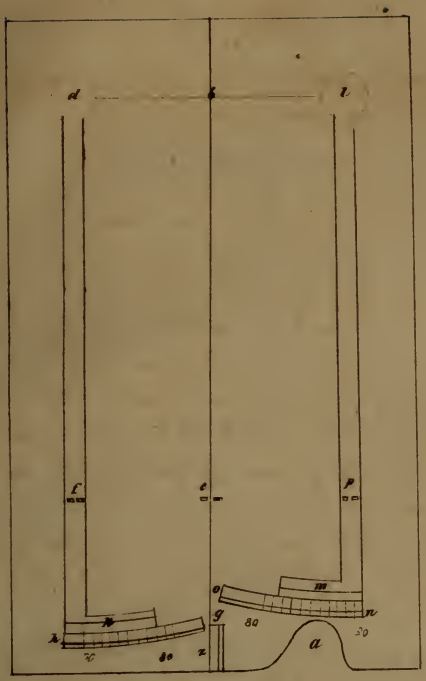


Fig. II.

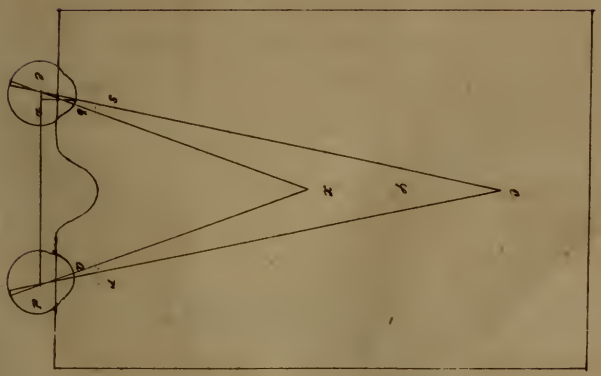


Fig. III.

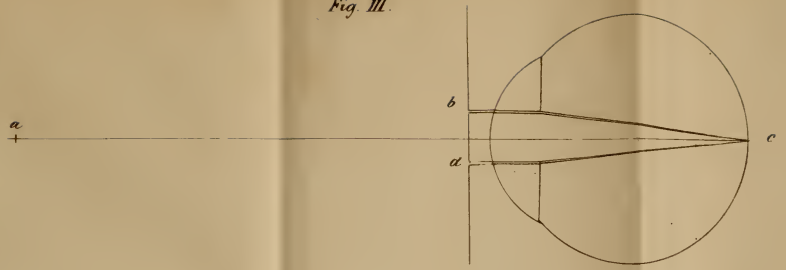


Fig. IV.

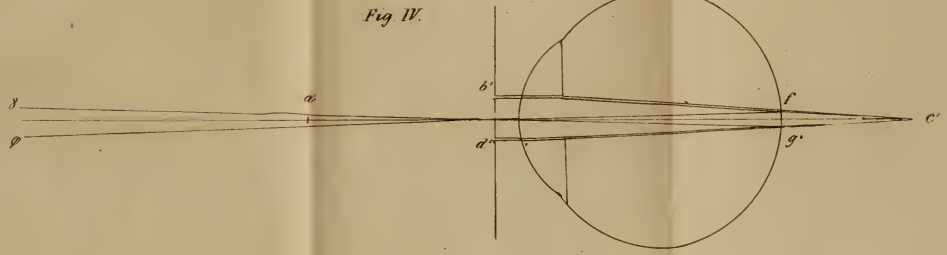
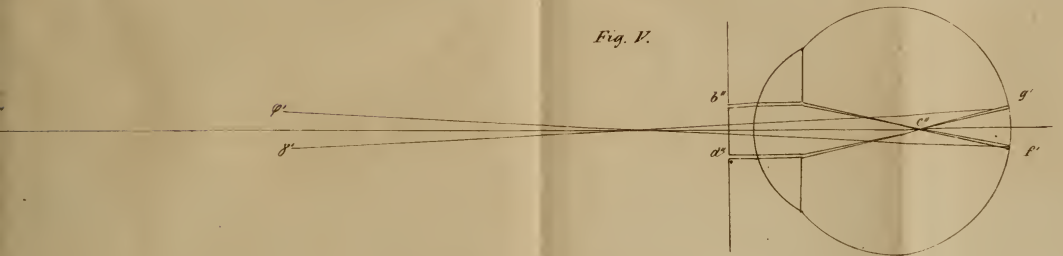


Fig. V.



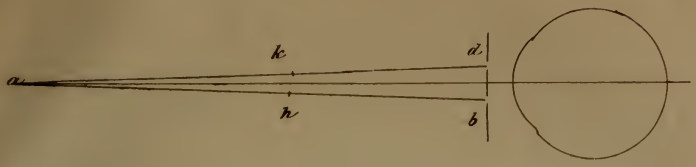


Fig. IX.

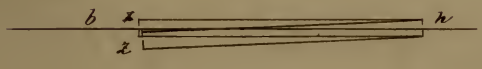


Fig. VII.

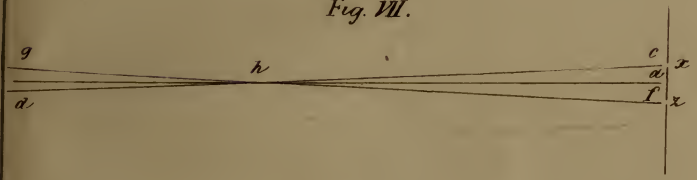


Fig. X.

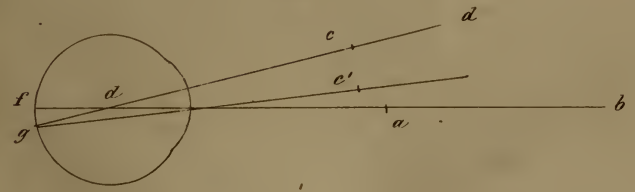
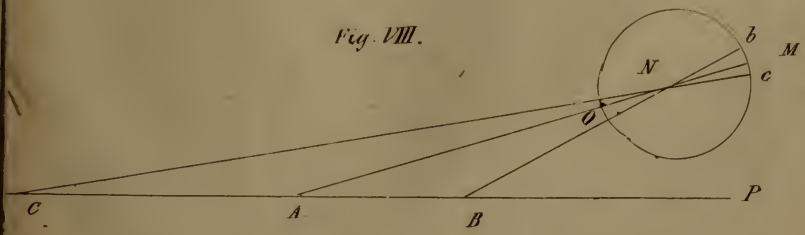


Fig. VIII.



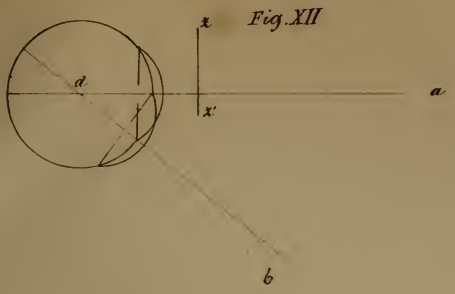
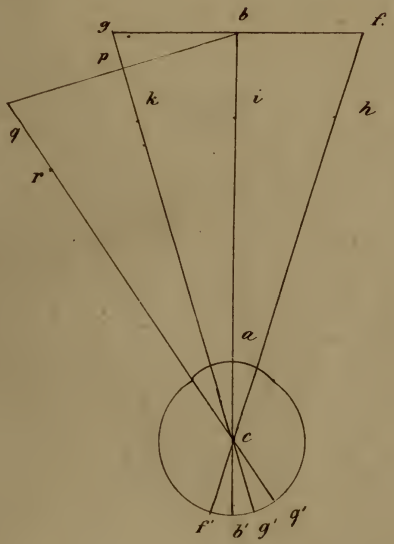
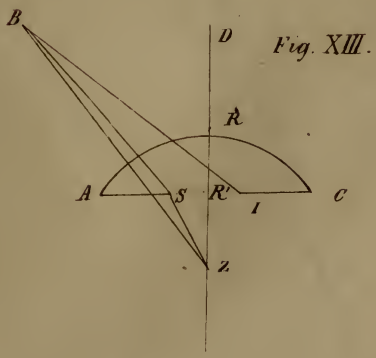


Fig. XI.





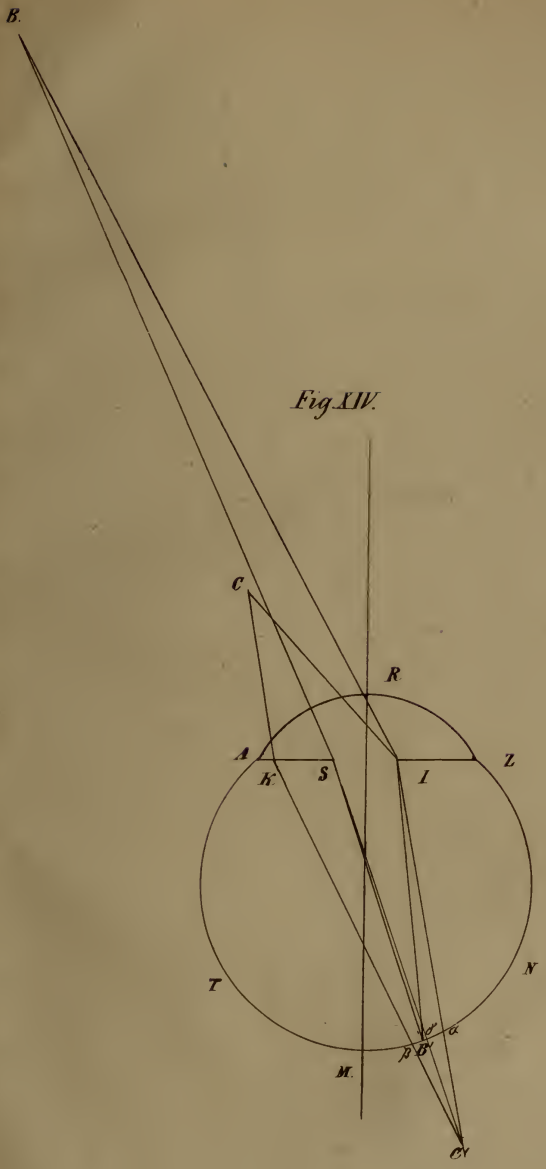


Fig. XIV.

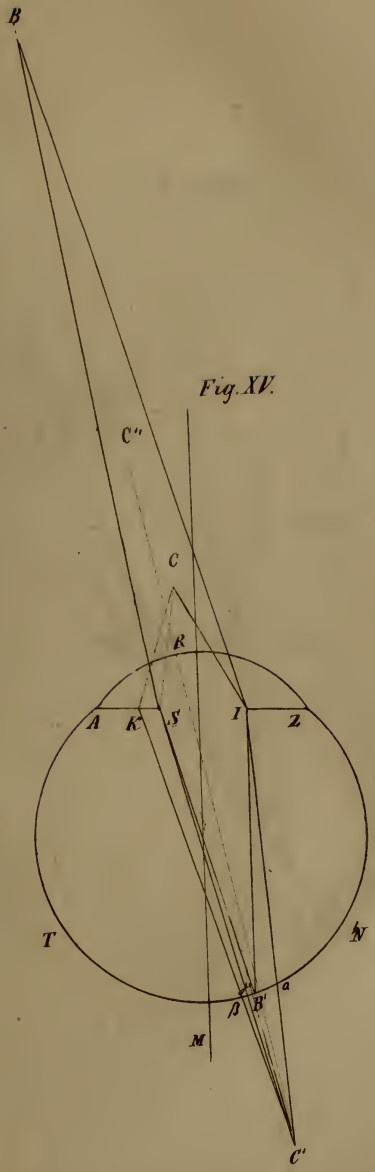


Fig. XV.

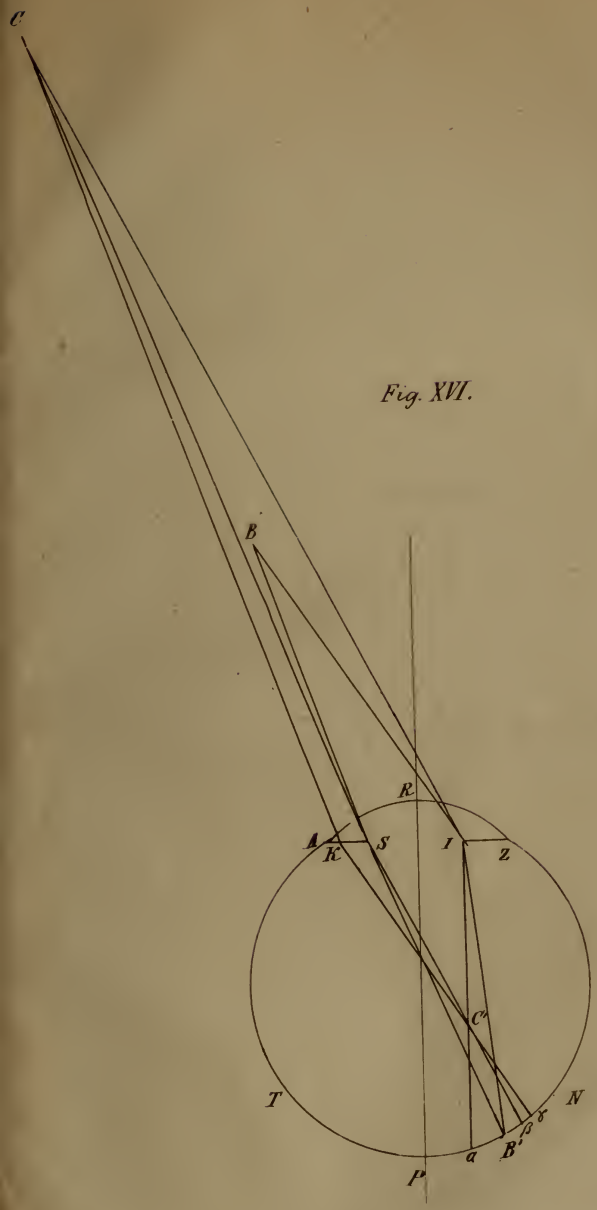


Fig. XVI.

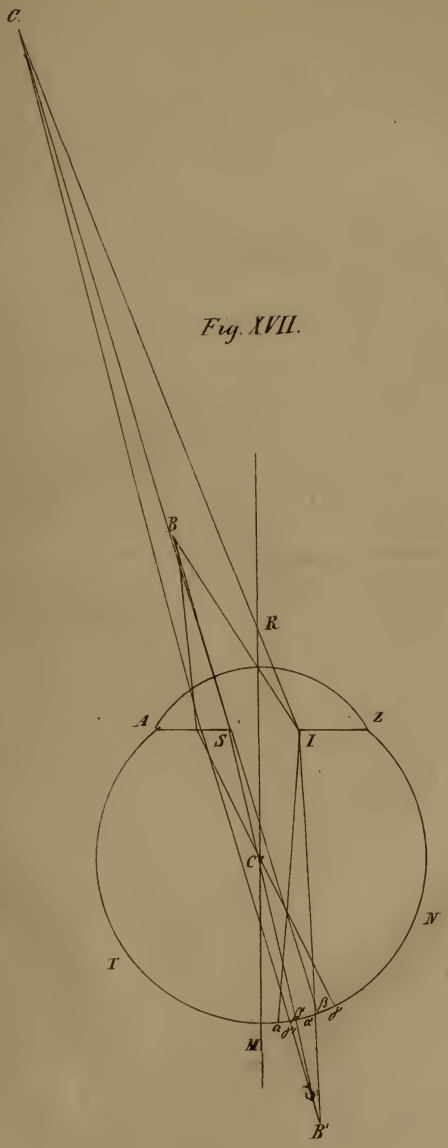
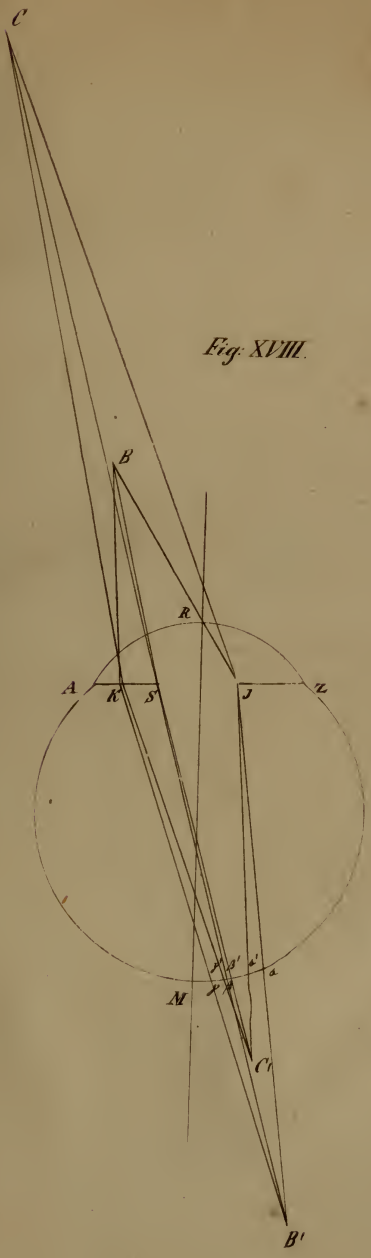


Fig. XVII.

Fig. XVIII.



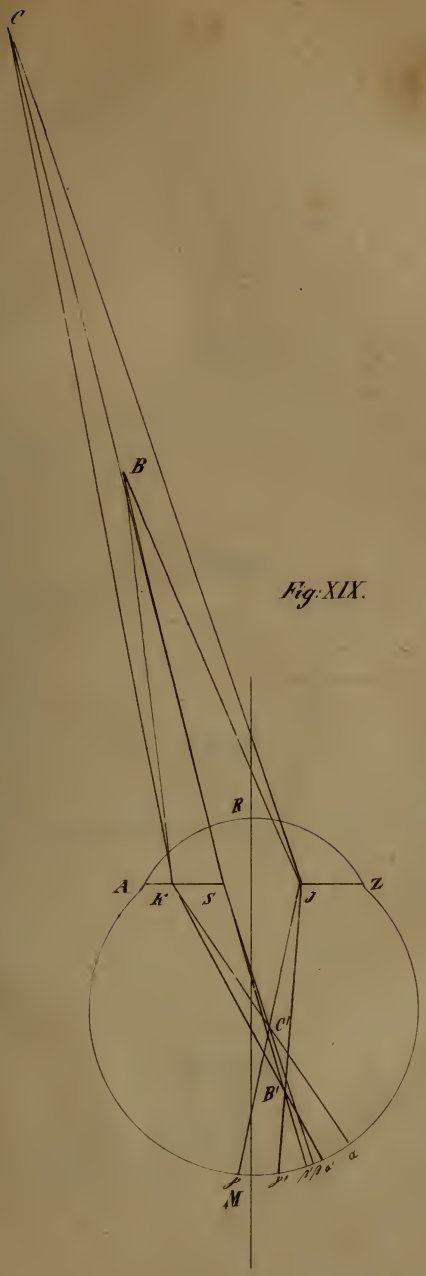


Fig: XIX.

Fig. XXIV.

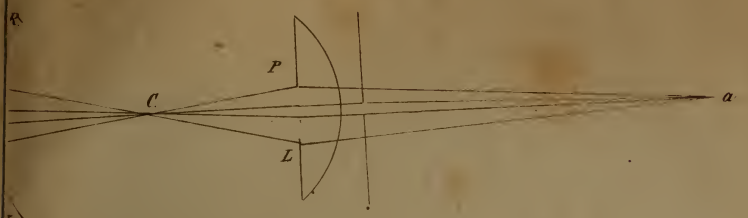


Fig. XXIII.

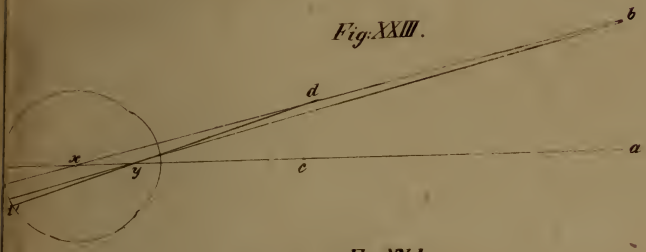


Fig. XXI.

Fig. XX.

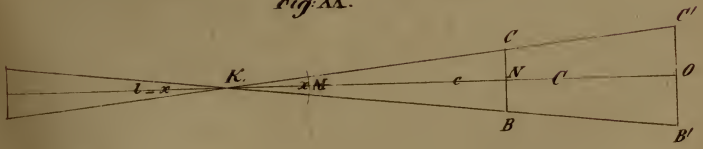
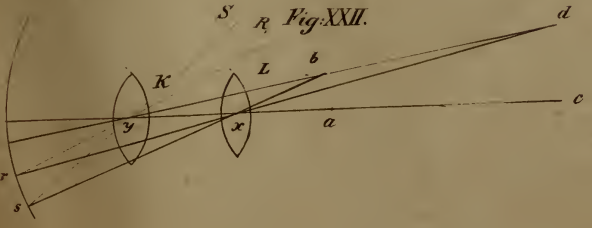
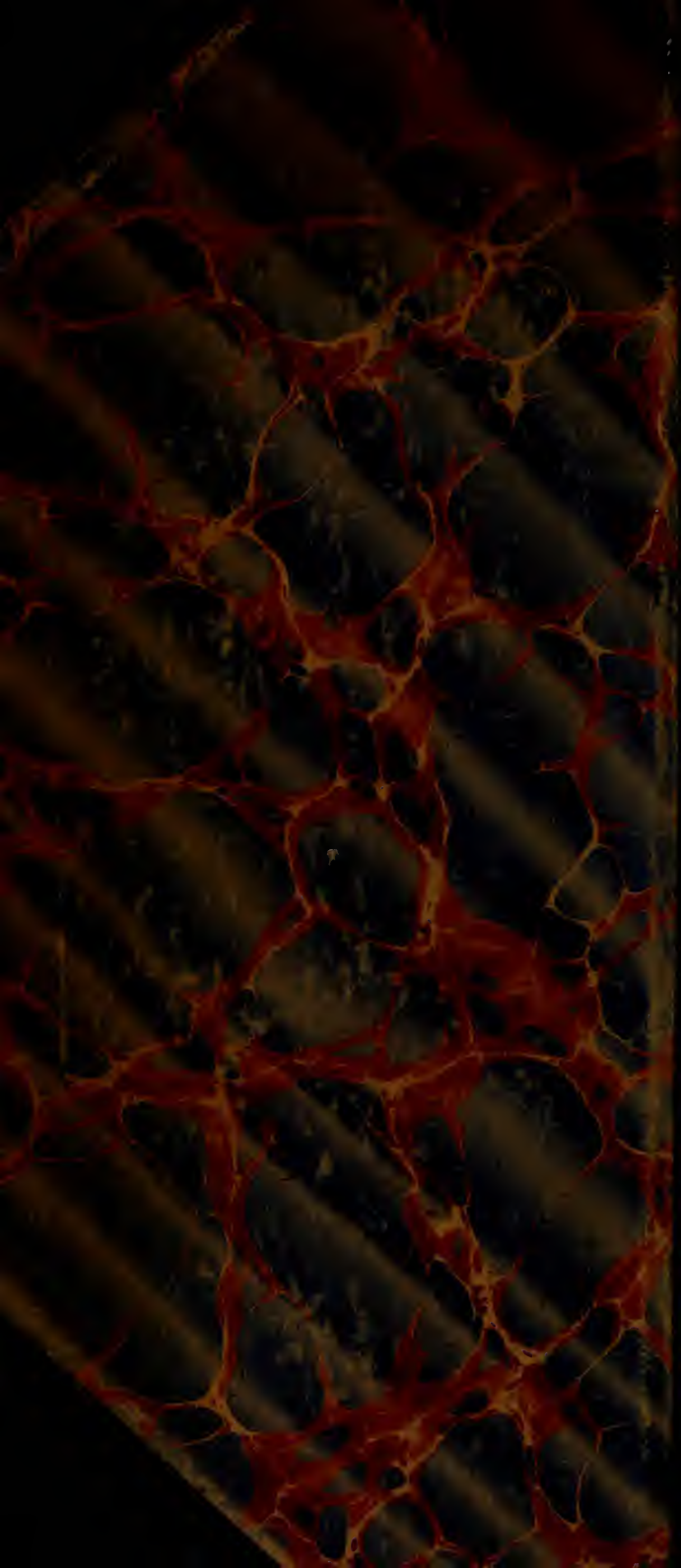



Fig. XXII.